



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Humberto Esteves Pateira da Costa

Desenvolvimento de um índice de conforto para os ocupantes de edifícios via técnicas de data mining



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Humberto Esteves Pateira da Costa

Desenvolvimento de um índice de conforto
para os ocupantes de edifícios via técnicas
de data mining

Tese de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia Civil

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor Ricardo Mateus
Professor Doutor Paulo Cortez

Outubro de 2012

AGRADECIMENTOS

Eu gostaria de agradecer aos meus pais e ao meu irmão pela oportunidade oferecida e pelo apoio incondicional. Sem eles eu não seria a pessoa que sou hoje. A eles devo-lhes tudo o que consegui alcançar.

Também fico muito agradecido ao Professor Doutor Ricardo Mateus e ao Professor Doutor Paulo Cortez que se mostraram sempre disponíveis para me orientar durante a realização deste trabalho e pelos seus conselhos indispensáveis. A colaboração prestada pelos próprios foi fundamental para que este trabalho fosse realizado e as metas atingidas.

A todos os amigos e colegas que me acompanharam durante a vida académica, que nos diversos aspetos me ajudaram a atingir os meus objetivos e moldar a pessoa em que me tornei, quer nos bons e nos maus momentos, gostaria de expressar o meu profundo agradecimento.

RESUMO

Atualmente, as condições ambientais no interior dos edifícios revelam-se, cada vez mais, fatores de decisão por parte dos clientes, de tal maneira, que se tornou uma área de investigação no setor da construção. Há, então, uma crescente necessidade de desenvolver metodologias que permitam modelar a resposta humana aos diversos estímulos ambientais, quer de um modo individual quer de um modo geral.

Tendo em conta a ausência de estudos nesta área a nível nacional, o principal objetivo deste trabalho passou pelo desenvolvimento de um índice que permita concluir o peso de cada um dos indicadores da categoria “Conforto e Saúde” do sistema de avaliação da sustentabilidade SBTool^{PT}. Para tal, foi desenvolvida uma metodologia onde se pretende avaliar o nível de desconforto global no interior de um edifício a partir de avaliações objetivas (parâmetros físicos) e avaliações subjetivas (insatisfação dos ocupantes) dos indicadores considerados: nível de desconforto térmico, nível de desconforto lumínico, nível de desconforto acústico e nível de desconforto relativo à qualidade do ar. Os parâmetros métricos considerados nas avaliações físicas foram: temperatura operativa para o ambiente térmico, a iluminância para a luminosidade, o nível sonoro contínuo equivalente ponderado A para a acústica e a quantidade de dióxido de carbono para a qualidade do ar interior.

Este estudo teve como base a análise de 344 avaliações subjetivas recolhidas por Mateus (2009). O objetivo foi obter a sensação de desconforto dos ocupantes em relação aos diferentes níveis de cada indicador. Estas avaliações foram complementadas com as avaliações objetivas dos 64 compartimentos onde foram recolhidas as avaliações subjetivas. Para analisar esses dados, vários algoritmos de *data mining* foram explorados, incluindo a Regressão Múltipla, para a qual foram obtidos os melhores resultados. Este modelo pode ser usado para simular o nível de conforto dos ocupantes, de acordo com os limites esperados dos parâmetros físicos de conforto. Este estudo é muito útil para apoiar a tomada de decisão desde as fases iniciais do projeto.

Palavras-chave: Construção; Sustentável; Índice; Conforto; *Data Mining*.

ABSTRACT

Currently, environmental conditions are increasingly becoming a key attribute on the decision of buying or renting a building. This fact led to the development of new research line in the construction industry. There is an increasing need to develop methodologies that allow building designers to shape the human response to the different environmental parameters, whether on a single person or on a group of individuals.

Given the lack of studies in this area within Portugal, the main goal of this thesis is to develop an index that allow to understand the importance of each indicator of the sustainability category "Health and Comfort" of the SBTool^{PT} sustainability evaluation system. In order to achieve this goal, a methodology has been developed intending to evaluate the global indoor environment discomfort level of a building, through objective evaluations (physical parameters) and subjective evaluations (occupant's dissatisfaction responses) of the considered indicators: level of thermal discomfort, level of visual discomfort, level of acoustic discomfort and level of discomfort with the air quality. The metric parameters considered on the physical evaluations were: the operative temperature to evaluate the thermal environment, the illuminance for lighting, A weighted equivalent continuous sound level for acoustic and the concentration of carbon dioxide for the air quality.

This study is based on the analysis of 344 subjective responses to a survey conducted by Mateus (2009). The purpose was to get the occupant's perceived level of discomfort according to different levels of each physical parameter. These evaluations have also been complemented with objective evaluations taken on the same 64 compartments where the subjective evaluations have been collected. To analyze this data, several data mining algorithms were explored, including Multiple Regression, for which the best modeling results were obtained. Such model can be used to simulate the occupant's level of comfort according to the expected boundaries of the comfort physical parameters. This study is very useful to support decision making since early design phases.

Keywords: Construction; Sustainable; Comfort; Index; Data Mining.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	V
RESUMO	VII
ABSTRACT	IX
ÍNDICE.....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
ÍNDICE DE TABELAS	XV
LISTA DE ACRÓNICOS	XVII
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento e Motivação	1
1.2. Objetivos	5
1.3. Organização da Dissertação	6
2. A AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE E O CONFORTO DOS UTILIZADORES.....	9
2.1. Metodologia MARS-H	9
2.2. Modelos existentes de ergonomia ambiental	15
2.2.1. Ambiente térmico	15
2.2.2. Iluminação	19
2.2.3. Ambiente acústico	22
2.2.4. Qualidade do ar.....	25
2.3. Índices integrados de conforto	28
2.4. <i>Data Mining</i>	32
2.4.1. Metodologia CRISP-DM.....	35
2.4.1.1. Compreensão do negócio	36
2.4.1.2. Compreensão dos dados.....	36
2.4.1.3. Preparação dos dados	36
2.4.1.4. Modelação.....	37
I) Regressão Linear/Múltipla	37
II) Máquinas de Vetores de Suporte	38
III) Redes Neurais Artificiais.....	39

IV)	Árvores de Decisão	39
V)	Random Forest	39
2.4.1.5.	Avaliação	40
I)	Coeficiente de Determinação	40
II)	Erro Médio Absoluto	40
III)	Regression Error Characteristic (REC)	41
2.4.1.6.	Implementação	41
2.4.2.	Ferramenta R	41
3.	DESENVOLVIMENTO DO ÍNDICE INTEGRADO DE CONFORTO	43
3.1.	Caracterização da amostra avaliada	43
3.2.	Metodologia aplicada	44
3.2.1.	Avaliações objetivas	45
3.2.1.1.	Ambiente térmico	46
3.2.1.2.	Luminosidade	47
3.2.1.3.	Ruído	48
3.2.1.4.	Qualidade do ar	49
3.2.2.	Avaliações subjetivas	50
3.2.3.	Tratamento dos dados obtidos	52
3.3.	Apresentação e análise dos resultados obtidos	54
3.3.1.	Resultados obtidos para o conforto térmico	54
3.3.2.	Resultados obtidos para o conforto lumínico	62
3.3.3.	Resultados obtidos para o conforto acústico	67
3.3.4.	Resultados obtidos para a resposta humana em relação à qualidade do ar	71
3.3.5.	Modelação do índice integrado de conforto	75
4.	CONCLUSÕES	79
4.1.	Síntese e discussão dos resultados obtidos	79
4.2.	Perspetivas Futuras	81
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
	ANEXOS	91
	Anexo A1 – Dados da amostra	A1
	Anexo A2 – Códigos Usados	A5

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Dimensões do Desenvolvimento Sustentável	1
Figura 1.2 - Condicionantes da Construção Sustentável	3
Figura 2.1 - Representação esquemática da escala de conforto térmico para votação dos ocupantes	17
Figura 2.2 - Relação entre os índices PMV e PPD e escala de Fanger para o conforto térmico	18
Figura 2.3 - Espectro da radiação eletromagnética	19
Figura 2.4 - Nível de insatisfação em função da iluminância	22
Figura 2.5 - Curvas isofônicas	23
Figura 2.6 - Nível de desconforto em função da concentração de CO ₂	27
Figura 2.7 - Processo de KDD.....	33
Figura 2.8 - Taxonomia do Data Mining	34
Figura 2.9 - Ciclo de vida da metodologia CRISP-DM	35
Figura 3.1 - Histograma de idades da amostra de ocupantes.....	43
Figura 3.2 - Repartição da amostra por género	44
Figura 3.3 – Estação de conforto térmico.....	46
Figura 3.4 – Data Logger utilizado na monitorização da luminosidade.....	47
Figura 3.5 – Sensor de iluminância utilizado na monitorização da luminosidade	47
Figura 3.6 - Sonómetro utilizado na monitorização do ambiente acústico	48
Figura 3.7 – Sensor de dióxido de carbono utilizado na monitorização da qualidade do ar ...	49
Figura 3.8 - Escalas graduadas apresentadas no inquérito para a avaliação do desconforto acústico e da qualidade do ar.....	50
Figura 3.9 - Escala graduada apresentada no inquérito para a avaliação do desconforto térmico	51
Figura 3.10 - Escala graduada apresentada no inquérito para a avaliação do desconforto lumínico	51
Figura 3.11 - Escala graduada apresentada no inquérito para avaliação do desconforto global	51
Figura 3.12 - Distribuição Normal ou Gaussiana	53
Figura 3.13 - Curva REC para o nível de desconforto da temperatura operativa.....	57

Figura 3.14 - Relação entre a temperatura operativa (°C) e o nível de desconforto (%)	58
Figura 3.15 - Relação entre a temperatura operativa (°C) e o nível de desconforto (%)	59
Figura 3.16 - Relação entre os índices PMV e nível de desconforto previsto	61
Figura 3.17 - Curva REC para o nível de desconforto lumínico.....	64
Figura 3.18 - Relação entre a iluminância (lx) e o nível de desconforto (%)	65
Figura 3.19 - Relação entre a iluminância (lx) e o nível de desconforto (%)	66
Figura 3.20 - Curva REC para o nível de desconforto do ruído	69
Figura 3.21 - Relação entre o ruído (dB(A)) e o nível de desconforto (%)	70
Figura 3.22 - Curva REC para o nível de desconforto relativo à qualidade do ar interior	73
Figura 3.23 - Relação entre a concentração de CO ₂ (CO ₂ ppm) e o nível de desconforto (%)	74
Figura 3.24 - Curva REC para o nível de desconforto geral.....	76

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Estrutura da MARS-H.....	11
Tabela 2.2 - Peso de cada dimensão na quantificação do nível de sustentabilidade	12
Tabela 2.3 - Peso de cada categoria e parâmetros na quantificação do desempenho ambiental do edifício.....	13
Tabela 2.4 - Peso de cada categoria e parâmetros na quantificação do desempenho social do edifício.....	14
Tabela 2.5 - Peso de cada parâmetro económico na quantificação do desempenho económico do edifício.....	15
Tabela 2.6 - Exemplos de valores de iluminância recomendados pela norma EN 12464-1:2002	21
Tabela 2.7 - Valores recomendados para o nível de pressão sonora para espaços interiores...	24
Tabela 2.8 - Sistema de pesos adotado nos indicadores da categoria "Conforto e Saúde dos Utilizadores" da metodologia MARS-H.....	32
Tabela 3.1 - Resultados obtidos nas medições objetivas e subjetivas necessárias para a caracterização do conforto térmico e modelação da resposta humana para 3 compartimentos .	55
Tabela 3.2 - Valores de R^2 e EMA (em %) para a previsão do conjunto de dados para o nível de desconforto da temperatura operativa.....	56
Tabela 3.3 - Relação da conversão para PMV.....	60
Tabela 3.4 - Resultados obtidos nas medições objetivas e subjetivas necessárias para a caracterização do conforto lumínico e modelação da resposta humana para 3 compartimentos	63
Tabela 3.5 - Valores de R^2 e EMA (em %) para a previsão do conjunto de dados para o nível de desconforto lumínico	63
Tabela 3.6 - Resultados obtidos nas medições objetivas e subjetivas necessárias para a caracterização do conforto acústico e modelação da resposta humana para 3 compartimentos	68
Tabela 3.7 - Valores de R^2 e EMA (em %) para a previsão do conjunto de dados para o nível de desconforto do ruído	68
Tabela 3.8 - Resultados obtidos nas medições objetivas e subjetivas necessárias para a caracterização da qualidade do ar interior e modelação da resposta humana para 3 compartimentos	72

Tabela 3.9 - Valores de R^2 e EMA (em %) para a previsão do conjunto de dados para o nível de desconforto relativo à qualidade do ar interior.....	72
Tabela 3.10 - Valores de R^2 e EMA (em %) para a previsão do conjunto de dados para o nível de desconforto geral.....	76
Tabela 3.11 - Pesos relativos propostos para os indicadores.....	77
Tabela A.1.1 - Dados da amostra dos parâmetros.....	1
Tabela A.1.2 - Dados da amostra para nível de desconforto global.....	3

LISTA DE ACRÓNICOS

AD	Árvores de Decisão
BD	Bases de dados
CRISP-DM	<i>Cross Industry Standard Process for Data Mining</i>
DCBD	Descoberta de Conhecimento em Base de Dados
DM	<i>Data Mining</i>
EMA	Erro Médio Absoluto
MARS-H	Metodologia de Avaliação Relativa da Sustentabilidade de Edifícios de Habitações
MVS	Máquinas de Vetor de Suporte
PMV	<i>Predicted Mean Vote</i>
PPD	<i>Predicted Percentage of Dissatisfied</i>
REC	<i>Regression Error Characteristic</i>
RF	<i>Random Forest</i>
RM	Regressão Múltipla
RNA	Redes Neurais Artificiais
R^2	Coeficiente de determinação

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento e Motivação

Em 1983, a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (WCED) foi criada pelas Nações Unidas para resolver a crescente preocupação sobre as consequências da degradação acelerada do meio ambiente humano e dos recursos naturais. O resultado do trabalho desenvolvido pela WCED foi um relatório designado de “O Nosso Futuro Comum ”.

O relatório foi, posteriormente, chamado Relatório Brundtland, em reconhecimento do presidente da WCED, Gro Harlem Brundtland. Foi publicado em 1987 e foi o primeiro foco na sustentabilidade global. Daqui surgiu a definição mais consensual de Desenvolvimento Sustentável: "Entende-se por desenvolvimento sustentável o desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a possibilidade das gerações do futuro satisfazerem as suas próprias necessidades” (WCED, 1987).

O relatório reuniu diferentes questões relacionadas com problemas ambientais e tinha como objetivo a afirmação como uma referência de padrões que relacionam a conservação ambiental e o crescimento económico respeitando os aspetos sociais (WCED, 1987). Este relatório acabou por definir as três dimensões do Desenvolvimento Sustentável (Figura 1.1).

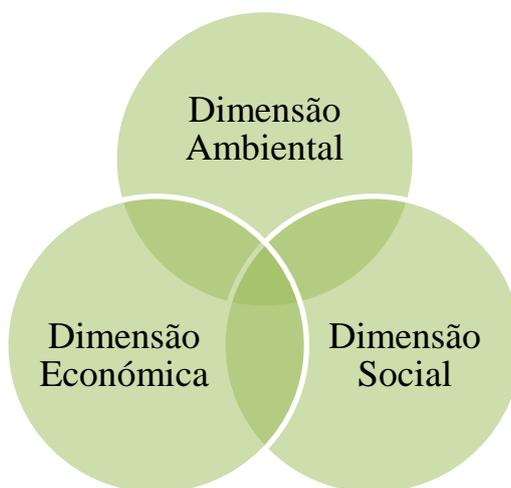


Figura 1.1 - Dimensões do Desenvolvimento Sustentável

O conceito “Construção Sustentável” surge na conhecida Cimeira da Terra, realizada no Rio de Janeiro em 1992. Este conceito visava a produção de construções mais adaptadas ao meio ambiente e aos seus utilizadores. Daqui surgiram as primeiras orientações para as estratégias locais e nacionais a aplicar na construção (UN, 1993).

Nos dias de hoje, a definição que reúne mais consenso foi proferida por Kibert no âmbito do CIB (*International Council for Research and Innovation in Building and Construction*). Segundo este autor a Construção Sustentável tem como objetivo “a criação e manutenção responsáveis de um ambiente construído saudável, baseado na utilização eficiente de recursos e em princípios ecológicos” (Kibert, 1994).

Com base na definição de Kibert, o CIB definiu os Sete Princípios para a Construção Sustentável:

1. Reduzir o consumo de recursos (reduzir);
2. Reutilizar recursos (reutilizar);
3. Utilizar recursos recicláveis (reciclar);
4. Proteger a natureza (natureza);
5. Eliminar os produtos tóxicos (resíduos tóxicos);
6. Analisar os custos de ciclo de vida (economia);
7. Assegurar a qualidade (qualidade).

Estes princípios tornaram-se a essência da operacionalização da construção sustentável e da identificação das áreas de desenvolvimento tecnológico. Contudo, a Construção Sustentável é ainda um conceito recente para a indústria da construção, havendo diversas perspectivas e formas de a medir conforme as diversas correntes (Pinheiro, 2003).

Segundo Kibert (2005), estes princípios devem ser aplicados em todo o ciclo de vida do edifício, desde a fase de projeto até à fase de demolição. Os mesmos também se aplicam aos recursos que são utilizados para manter o ambiente construído ao longo do seu ciclo de vida.

Respeitando estes princípios, em todos os processos de decisão, é possível a criação de edifícios mais sustentáveis, sendo este o motivo que leva a que estes princípios sejam considerados os pilares da construção sustentável.

O conceito “Construção Sustentável” apesar de ser muitas vezes associado a uma prática ambiental, integra outras condicionantes como é o caso da equidade social, o legado cultural e condicionantes económicas (Figura 1.2).

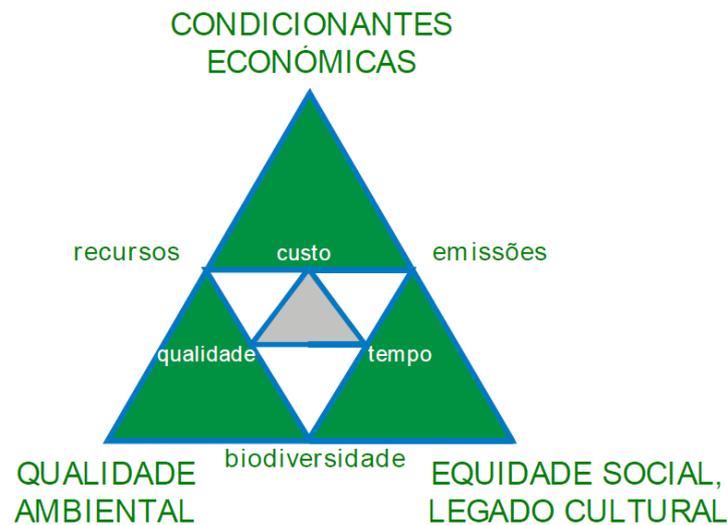


Figura 1.2 - Condicionantes da Construção Sustentável (adaptado de Mateus, 2006)

Mais recentemente, o grupo de trabalho CRISP (*Construction and city related sustainable indicators*) definiu que “com a construção sustentável pretende-se que os produtos da indústria da construção satisfaçam os requisitos funcionais necessários com o menor impacto ambiental possível, enquanto promovem melhorias a nível económico, social e cultural à escala local, regional e global”. Daqui se conclui que a construção sustentável também tem como objetivos melhorar o conforto dos seus utilizadores e a qualidade de vida da população global.

A construção sustentável tem, ainda, em consideração a qualidade ambiental, a qualidade funcional assim como mais-valias relacionadas com o desempenho na fase de utilização das construções. Isto traduz-se em preocupações ao nível da qualidade de vida, ou seja, ao nível do conforto do ocupante do edifício, conforto este que resulta da combinação de diversos parâmetros que influenciam cada ser humano.

Atualmente, o mercado da construção encontra-se saturado, pelo que a qualidade da construção assim como o ambiente proporcionado pela mesma, estão-se a tornar fatores importantes na altura da decisão por parte dos utilizadores (Mateus, 2009).

Uma vez que nenhuma das ferramentas ou sistemas de avaliação da sustentabilidade desenvolvidos até hoje, como por exemplo o *Sustainable Building Tool* (SBTool), é amplamente aceite devido à subjetividade do conceito “sustentável”, às diferenças culturais, económicas, sociais e tecnológicas dos países e regiões, será desenvolvido um índice específico para a região Norte de Portugal. Este será proposto para a metodologia MARS-H (Metodologia Avaliação Relativa da Sustentabilidade de Habitações) adotada na ferramenta SBTool^{PT}. O SBTool é uma ferramenta de avaliação e certificação/classificação do desempenho de edifícios face às melhores práticas da construção sustentável. A sua adaptação para a realidade portuguesa designa-se por SBTool^{PT} e foi conduzida pela Associação iiSBE Portugal (Delegação Nacional da *International Initiative for a Sustainable Built Environment*) que tem como objetivo a promoção de práticas sustentáveis na indústria da construção internacional (iiSBE, 2012).

Mais à frente, nesta dissertação será explicado detalhadamente, no Capítulo 2 – Estado de Arte, a metodologia MARS-H que serve de base para a ferramenta SBTool^{PT}.

De maneira a desenvolver um índice que permita avaliar o peso de cada um dos indicadores da categoria de conforto é necessário saber que o conforto sentido pelo corpo humano resulta de um conjunto de parâmetros ambientais. Estes parâmetros são características objetivas de um determinado espaço, que podem ser quantificados independentemente de cada utilizador. Para além dos parâmetros físicos (objetivos), também existem os parâmetros subjetivos, sendo estes classificados consoante a perceção dos ocupantes relativamente à sensação de conforto do espaço, que só a cada um diz respeito.

O conforto oferecido por determinado ambiente depende desta forma da combinação presente entre os parâmetros objetivos e subjetivos que influenciam cada ser humano. Desta forma, o índice desenvolvido será um índice racional ou comportamental, por se tratar de um índice apoiado em modelos matemáticos que descreve o comportamento humano.

1.2. Objetivos

O principal objetivo desta dissertação passa pela apresentação de uma proposta para o desenvolvimento do sistema de pesos da categoria “Conforto e Saúde” do sistema de avaliação da sustentabilidade SBTool^{PT}. Pretende-se desenvolver um índice que integre os parâmetros de conforto mais relevantes e que permita concluir, de uma forma rigorosa, o peso de cada um dos indicadores da categoria de conforto. Este índice poderá simultaneamente ser utilizado como apoio nas tomadas de decisão que tenham a finalidade de conceber edifícios mais sustentáveis.

Na definição dos pesos será considerado o modo como cada um dos indicadores influencia o conforto global percebido pelos ocupantes dos edifícios. O objetivo é desenvolver um índice integrado que traduza o nível de desconforto global (ND_G) de um ambiente interior em função do nível de desconforto térmico (ND_{TE}), nível de desconforto lumínico (ND_{IL}), nível de desconforto acústico (ND_{AC}), nível de desconforto em relação à qualidade do ar (ND_{QA}) e do peso relativo (W_i) de cada indicador, resultando num índice expresso pela Equação 1.1.

$$ND_G = W_{TE} * ND_{TE} + W_{IL} * ND_{IL} + W_{AC} * ND_{AC} + W_{QA} * ND_{QA} \quad (1.1)$$

Para atingir o objetivo deste trabalho serão utilizados dados recolhidos por Mateus (2009) e serão efetuadas análises às amostras em termos estatísticos utilizando técnicas de *data mining* via ferramenta estatística R (R-Project, 2012).

Pretende-se que os resultados obtidos na presente dissertação contribuam para a perceção da importância dos diversos fatores que condicionam a qualidade do ambiente interior de modo a permitir a maximização do nível global de conforto durante a fase de conceção de um edifício.

Para os projetistas, este trabalho permitirá uma avaliação mais explícita dos principais indicadores de conforto, o que criará as bases para as tomadas de decisão que conduzam à maximização do nível de conforto durante a totalidade do ciclo de vida de um edifício, aumentando assim o grau de satisfação dos seus ocupantes.

Resumidamente, os objetivos específicos da seguinte dissertação são:

- Analisar os modelos existentes de ergonomia ambiental correspondentes aos diferentes parâmetros que serão alvo de estudo e avaliação;
- Analisar as variadas metodologias existentes na área da avaliação do conforto tendo em conta as suas semelhanças, limitações e diferenças;
- Desenvolvimento de um índice integrado de conforto para a categoria de conforto e saúde do sistema de avaliação da sustentabilidade SBTTool^{PT}, avaliando o peso de cada um dos indicadores dessa categoria;
- Determinar a importância dos diversos fatores que condicionam a qualidade do ambiente interior de modo a permitir a maximização do nível global de conforto.

1.3. Organização da Dissertação

O desenvolvimento da presente dissertação encontra-se dividido em quatro capítulos, sendo estes divididos em subcapítulos. De seguida encontra-se uma breve descrição do conteúdo de cada um dos capítulos.

No primeiro capítulo é efetuado o enquadramento do tema no contexto da construção sustentável e descreve-se a influência que o conforto tem nesta área. São também enumerados e explicados os objetivos, sendo também apresentada a organização da dissertação.

O segundo capítulo é relativo ao Estado da Arte, capítulo este que aborda os modelos existentes de ergonomia ambiental relativamente a cada um dos parâmetros estudados, assim como os mais importantes índices integrados de conforto que foram alvo de estudo e serviram de base para o desenvolvimento deste trabalho. É também abordado a temática de *data mining*, uma vez que foi este o processo utilizado durante o trabalho para obter o índice integrado de conforto.

O terceiro capítulo trata do desenvolvimento do índice integrado de conforto. Este índice foi desenvolvido aplicando técnicas de *data mining* a dados recolhidos num trabalho anterior. Nesse trabalho foram recolhidas avaliações objetivas e subjetivas. As medições objetivas consistem na medição das grandezas físicas que influenciam o conforto dos respetivos ocupantes enquanto as medições subjetivas consistem na avaliação do nível de desconforto dos ocupantes no que diz respeito a cada parâmetro e no geral. Com os resultados obtidos e

utilizando as metodologias de trabalho descritas em seção própria, desenvolveu-se um índice integrado de conforto, onde é possível obter o peso relativo dos quatro parâmetros: nível de desconforto térmico, nível de desconforto lumínico, nível de desconforto acústico e nível de desconforto relativamente à qualidade do ar interior.

No quarto capítulo são tiradas as conclusões do estudo realizado e apresentadas algumas observações no que concerne às perspectivas futuras.

2. A AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE E O CONFORTO DOS UTILIZADORES

2.1. Metodologia MARS-H

Neste subcapítulo será apresentada a estrutura e o conteúdo do sistema de avaliação da sustentabilidade de edifícios de habitação, desenvolvida por Mateus (2009), e para a qual se destina a proposta da presente dissertação.

Esta metodologia designa-se por Metodologia de Avaliação Relativa da Sustentabilidade de Edifícios de Habitações (MARS-H) e resulta de uma adaptação para a escala de edifícios de habitação da Metodologia de Avaliação Relativa de Sustentabilidade de Soluções Construtivas (MARS-SC), desenvolvida pelo mesmo autor em colaboração com uma equipa de investigação, à qual pertence, no âmbito do desenvolvimento do sistema de avaliação SBTool^{PT}.

Pretende-se que este sistema apoie os projetistas a prever o comportamento de um edifício desde a sua fase de conceção, tendo por base o comportamento previsto para todo o seu ciclo de vida. Deve servir também para avaliação da sustentabilidade para todos os edifícios, quer para os existentes, como para os novos ou remodelados. Quer isto dizer que a metodologia deverá contribuir para uma análise dos impactes de um edifício, apoiando assim os projetistas nas tomadas de decisão para otimização da sustentabilidade.

De referir que esta metodologia foi desenvolvida para a realidade portuguesa, daí encontrar-se adaptada para o seu contexto ambiental, económico e social. Desta forma, evita-se disparidades nos resultados, uma vez que a metodologia é desenvolvida para uma região específica.

Para esta metodologia foi necessário desenvolver dois tipos de fronteiras: física e temporal. A fronteira física inclui o edifício, as suas fundações e os trabalhos exteriores no terreno de implantação, sendo que estes se encontram relacionados com a interação do edifício com a

sua envolvente. Assim, são tidos em conta todos os impactes diretamente relacionados com o edifício. A fronteira temporal inclui todo o ciclo de vida do edifício, seja este novo ou reabilitado. Para edifícios novos, são consideradas todas as fases do ciclo de vida do edifício, ou seja, desde a fase de extração das matérias-primas para a sua conceção até ao transporte dos resíduos para tratamento ou depósito após a sua demolição. No que concerne aos reabilitados, a primeira fase a considerar é a da extração das matérias-primas necessárias para a sua reabilitação, terminando, também, com o transporte dos resíduos para tratamento ou depósito após a sua demolição. Quando não é especificado o período de vida para o edifício, a MARS-H considera um período de vida de 50 anos.

Ao mesmo tempo, surgiu a necessidade de definir uma estrutura para esta metodologia, o que resultou na definição de parâmetros, indicadores e categorias para as três dimensões da construção sustentável. Um parâmetro é uma característica mensurável que fornece informação específica sobre uma área. Um indicador é um valor que expressa o nível de desempenho e que deriva da combinação de um ou mais parâmetros. Uma categoria é definida pela combinação dos diversos indicadores.

A metodologia também considera certos aspetos que, apesar de não estarem diretamente relacionados com as decisões que podem ser tomadas, podem ter influência na qualidade de vida dos utilizadores, assim como nos impactes ambientais durante a fase de utilização do edifício. A título de exemplo refere-se a acessibilidade a transportes públicos. Na Tabela 2.1, onde constam categorias, indicadores e parâmetros adotados na MARS-H, é possível verificar essa realidade.

Analisando a Tabela 2.1, constata-se que na MARS-H a avaliação do desempenho do edifício é efetuada através de 9 categorias, categorias estas que, regra-geral, resultam da combinação de vários indicadores. Na sua totalidade, é composta por 24 indicadores cada um relacionado com a sua categoria. Apenas um dos indicadores, Densidade Urbana, é composto por dois parâmetros, o que perfaz um total de 25 parâmetros.

Inicialmente, o processo de avaliação da MARS-H passa pela quantificação do desempenho ao nível de cada parâmetro e conseqüentemente ao nível de cada categoria e dimensão. Assim, é possível quantificar o nível de sustentabilidade de um edifício.

Tabela 2.1 - Estrutura da MARS-H (Mateus, 2009)

Dimensões	Categorias	Indicadores	Parâmetros	ID	
Dimensão Ambiental	C1 - Alterações climáticas e qualidade do ar exterior	Impacte ambiental associado ao ciclo de vida dos edifícios	Valor agregado das categorias de impacte ambiental de ciclo de vida do edifício por m ² de área útil de pavimento e por ano	P1	
			Densidade urbana	Percentagem utilizada do índice de utilização líquido disponível	P2
				Índice de impermeabilização	P3
	C2 - Biodiversidade e uso do solo	Reutilização de solo previamente edificados ou contaminado	Uso de plantas autóctones	Percentagem da área de intervenção previamente contaminada ou edificada	P4
				Percentagem de áreas verdes ocupadas por plantas autóctones	P5
				Percentagem de área em planta com refletância igual ou superior a 60%	P6
	C3 - Energia	Energia primária não renovável	Energia produzida localmente a partir de fontes renováveis	Consumo de energia primária não renovável na fase de utilização	P7
				Quantidade de energia que é produzida no edifício através de fontes renováveis	P8
	C4 - Materiais e resíduos sólidos	Reutilização de materiais	Utilização de materiais reciclados	Percentagem em custo de materiais reutilizados	P9
				Percentagem em peso do conteúdo reciclado do edifício	P10
				Percentagem em custo de produtos de base orgânica que são certificados	P11
				Percentagem em massa de materiais substitutos do cimento no betão	P12
				Potencial das condições do edifício para a promoção da separação de resíduos sólidos	P13
	C5 - Água	Consumo de água	Reutilização e utilização de água não potável	Volume anual de água consumido per capita no interior do edifício	P14
				Percentagem de redução do consumo de água potável	P15
Dimensão Social	C6 - Conforto e saúde dos utilizadores	Eficiência da ventilação natural em espaços interiores	Potencial de ventilação natural	P16	
			Toxicidade dos materiais de acabamento	Percentagem em peso de materiais de acabamento com baixo conteúdo de COV	P17
			Conforto Térmico	Nível de conforto térmico médio anual	P18
			Conforto Visual	Média do Fator de Luz do Dia Médio	P19
	C7 - Acessibilidade	Conforto Acústico	Acessibilidade a transportes públicos	Nível médio de isolamento acústico	P20
				Índice de acessibilidade a transportes públicos	P21
	C8 - Sensibilização e educação para a sustentabilidade	Acessibilidade a amenidades	Formação dos ocupantes	Índice de acessibilidade a amenidades	P22
				Disponibilidade e conteúdo do Manual do Utilizador do Edifício	P23
Dimensão Económica	C9 - Custos de ciclo de vida	Custos de investimento inicial	Valor do custo do investimento inicial por m ² de área útil	P24	
			Custos de utilização	Valor atual dos custos de utilização por m ² de área útil	P25

Para se quantificar o desempenho ao nível dos indicadores, categorias e dimensões houve a necessidade de atribuir pesos relativos a cada um dos parâmetros, de modo a permitir a sua agregação. Uma vez que não existe um método consensual para a definição de pesos relativos de cada parâmetro e estes podem mudar consoante o seu contexto sociocultural, existem diversos métodos para a sua definição.

Para a MARS-H, o sistema de pesos usado resultou de um trabalho realizado pelo Laboratório de Física e Tecnologias das Construções da Universidade do Minho (LFCT-UM). Este processo iniciou-se com a definição do peso de cada dimensão do desenvolvimento sustentável para a quantificação do nível de sustentabilidade do edifício. Desta forma, procurou-se harmonizar as três dimensões do desenvolvimento sustentável, resultando na distribuição de pesos que se apresenta na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Peso de cada dimensão na quantificação do nível de sustentabilidade

Dimensão	Peso (%)
Ambiental	40
Social	30
Económica	30

De seguida, foi definido o peso dos parâmetros e categorias ambientais. Uma vez que a nível europeu ainda não foram realizados estudos neste sentido, a definição de pesos da dimensão ambiental teve como referência um estudo realizado pela Agência Norte-Americana para a Proteção Ambiental – EPA (EPA, 1990 e EPA, 2000), onde foi analisada a importância de 12 categorias de impacte ambiental. Atendendo a importância relativa atribuída pela EPA, foram adotados pesos para os parâmetros e categorias ambientais da metodologia MARS-H. Estes pesos baseiam-se no contributo que cada um dos parâmetros ambientais apresenta em cada uma das categorias de impacte ambiental. Os pesos definidos para as categorias e parâmetros da dimensão ambiental são apresentados na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 - Peso de cada categoria e parâmetros na quantificação do desempenho ambiental do edifício (adaptado de Mateus, 2009)

Dimensões	Peso (%)	Categorias	Peso (%)	Parâmetros	Peso (%)	
Dimensão Ambiental	40	C1 - Alterações climáticas e qualidade do ar exterior	5,2	P1	Valor agregado das categorias de impacte ambiental de ciclo de vida do edifício por m ² de área útil de pavimento e por ano	5,2
				P2	Percentagem utilizada do índice de utilização líquido disponível	3,2
				P3	Índice de impermeabilização	0,4
		C2 - Biodiversidade e uso do solo	8	P4	Percentagem da área de intervenção previamente contaminada ou edificada	1,2
				P5	Percentagem de áreas verdes ocupadas por plantas autóctones	1,6
				P6	Percentagem de área em planta com refletância igual ou superior a 60%	1,6
		C3 - Energia	12,8	P7	Consumo de energia primária não renovável na fase de utilização	6,4
				P8	Quantidade de energia que é produzida no edifício através de fontes renováveis	6,4
				P9	Percentagem em custo de materiais reutilizados	3,6
		C4 - Materiais e resíduos sólidos	11,6	P10	Percentagem em peso do conteúdo reciclado do edifício	3,6
				P11	Percentagem em custo de produtos de base orgânica que são certificados	2,8
				P12	Percentagem em massa de materiais substitutos do cimento no betão	1,2
		C5 - Água	2,4	P13	Potencial das condições do edifício para a promoção da separação de resíduos sólidos	0,4
				P14	Volume anual de água consumido per capita no interior do edifício	1,2
				P15	Percentagem de redução do consumo de água potável	1,2

No que diz respeito à definição de pesos dos parâmetros e categorias sociais, em Portugal também não existem estudos nesta área. A definição de pesos dos parâmetros da categoria “C6 – Conforto e Saúde dos utilizadores” foi desenvolvida através de avaliações objetivas e subjetivas. Tal deve-se ao facto dos pesos relativos variarem consoante o contexto socioeconómico e cultural do edifício e dos seus ocupantes. Para tal, recorreu-se a medições físicas (avaliações objetivas) e inquéritos aos ocupantes (avaliações subjetivas), obtendo-se os pesos relativos dos parâmetros avaliados através da modelação dos dados obtidos pelas

avaliações. A metodologia adotada é em tudo idêntica à que se encontra apresentada nesta dissertação, mais propriamente no Capítulo 3 – Desenvolvimento de um Índice Integrado de Conforto. Quanto às restantes categorias e parâmetros, o seu peso foi definido tendo em conta outras metodologias e a opinião de especialistas no domínio da construção sustentável. No entanto, Mateus (2009) sugere a realização de inquéritos a potenciais utilizadores para, posteriormente, ser aplicada uma metodologia de análise multicritério de forma a quantificar o peso de cada categoria e respetivos parâmetros. Na Tabela 2.4 encontram-se os pesos adotados para as categorias e parâmetros da dimensão social.

Tabela 2.4 - Peso de cada categoria e parâmetros na quantificação do desempenho social do edifício (adaptado de Mateus, 2009)

Dimensões	Peso (%)	Categorias	Peso (%)	Parâmetros	Peso (%)	
Dimensão Social	30	C6 - Conforto e saúde dos utilizadores	18	P16	Potencial de ventilação natural	2,1
				P17	Percentagem em peso de materiais de acabamento com baixo conteúdo de COV	2,1
				P18	Nível de conforto térmico médio anual	5,7
				P19	Média do Factor de Luz do Dia Médio	4,5
				P20	Nível médio de isolamento acústico	3,6
		C7 - Acessibilidade	9	P21	Índice de acessibilidade a transportes públicos	5,1
				P22	Índice de acessibilidade a amenidades	3,9
		C8 - Sensibilização e educação para a sustentabilidade	3	P23	Disponibilidade e conteúdo do Manual do Utilizador do Edifício	3

Para a definição de pesos dos parâmetros económicos teve-se em conta os dois grupos de intervenientes na construção de edifícios: os donos-de-obra e os utilizadores/compradores. Os donos-de-obra consideram que a utilização de soluções sustentáveis implica mais riscos financeiros por se tratarem de custos capitais mais elevados, enquanto os utilizadores presam pelo seu conforto a um baixo custo de utilização e manutenção. Desta maneira, a solução adotada pelo autor foi repartir equitativamente o peso pelos dois parâmetros económicos, como se pode constatar na Tabela 2.5.

Tabela 2.5 - Peso de cada parâmetro económico na quantificação do desempenho económico do edifício (adaptado de Mateus, 2009)

Dimensões	Peso (%)	Categorias	Peso (%)	Parâmetros	Peso (%)
Dimensão Económica	30	C9 - Custos de ciclo de vida	30	P24 Valor do custo do investimento inicial por m ² de área útil	15
				P25 Valor atual dos custos de utilização por m ² de área útil	15

2.2. Modelos existentes de ergonomia ambiental

Nesta secção serão apresentados alguns modelos de ergonomia ambiental, relativos a cada um dos parâmetros de conforto considerados - ambiente térmico, iluminação, ambiente acústico e qualidade do ar interior. Deste modo, para cada parâmetro, será descrito sucintamente o sistema sensorial humano e as normas e índices mais reconhecidos no atual estado da arte.

2.2.1. Ambiente térmico

O ser humano para sobreviver precisa de manter o seu corpo a uma temperatura constante de 37 +/- 0,2 °C, sendo obrigado a uma procura constante de um equilíbrio térmico entre a sua temperatura e a do meio ambiente, uma vez que é esta que influencia a sua temperatura interna. Percecionado esse equilíbrio térmico, encontra-se um “estado de espírito que expressa satisfação com o ambiente térmico que envolve uma pessoa (nem quente nem frio)” (EN ISO 7730, 2005).

A sensação de conforto térmico é dependente do equilíbrio térmico entre os ganhos de energia produzida pelo corpo, assim como os ganhos de energia do meio e as perdas de energia para o último, isto com o objetivo de manter a temperatura do corpo constante nos 37 +/- 0,2 °C.

Segundo Almeida et al. (2008), estas trocas de energia entre o corpo e o meio ambiente em que este está inserido ocorrem através da transferência de calor do corpo mais quente para o corpo mais frio, podendo decorrer de várias formas:

- **Condução:** quando o corpo entra em contacto com algum corpo (sólido ou líquido) de diferente temperatura;
- **Convecção:** quando o corpo entra em contacto com fluídos em movimento;
- **Radiação:** quando o corpo absorve a energia térmica sobre a forma de ondas eletromagnéticas;
- **Evaporação:** esta dá-se através da transpiração e respiração.

Tal como anteriormente referido, através destas trocas de energia o corpo humano tenta que o balanço entre elas seja nulo para não aquecer nem arrefecer. Caso tal não aconteça, o corpo ativa o sistema termorregulador, com a finalidade de manter a temperatura do corpo dentro dos limites saudáveis. A título de exemplo, se a temperatura ambiente for muito superior à do corpo humano são ativados mecanismos como a sudorese, o aumento do fluxo de sangue para a zona cutânea e a alteração do ritmo cardíaco. Se a temperatura ambiente for muito inferior à do corpo humano são ativados mecanismos como a contração dos vasos capilares mais próximos da pele, os arrepios e o tremor dos músculos (Mateus, 2009).

Segundo a EN ISO 7730:2005, a sensação de conforto térmico é influenciada por um conjunto de fatores:

- **Temperatura do ar:** esta temperatura influencia os processos de troca de calor entre o corpo e o ambiente por convecção ou evaporação, uma vez que é através do ar circundante que se processam essas trocas;
- **Temperatura média de radiação:** esta temperatura influencia o processo de troca de calor por radiação entre o indivíduo e as superfícies circundantes;
- **Velocidade do ar:** esta variável influencia o ritmo de transferência de calor entre o corpo e o ar que o circunda;
- **Humidade relativa:** esta variável influencia os processos de perda de calor por evaporação;
- **Vestuário:** este fator influencia o fluxo de calor dissipado pela porção coberta da pele;
- **Nível de atividade metabólica:** este fator influencia a grandeza de calor total a dissipar para manter o equilíbrio térmico.

Baseado maioritariamente nestes fatores, em 1937, Gagge criou um novo conceito designado de temperatura operativa (TO). Esta integra a temperatura do ar (T_a), a temperatura média radiante (T_r), coeficientes de transferência de calor por convecção (h_c) e por radiação (h_r) e coeficientes de transferência de calor relacionados com o nível de vestuário (C_v) e o nível de atividade metabólica (C_m). A temperatura operativa é expressa pela Equação 2.1.

$$TO = \frac{h_c * T_a + h_r * T_r}{h_c + h_r} + C_v + C_m \quad (2.1)$$

A temperatura operativa é também usada na norma EN 15251:2007, onde são apresentados valores recomendados para variados tipos de espaços climatizados.

Atualmente, o modelo que é mais aceite a nível internacional para avaliação do ambiente térmico é o modelo proposto por Fanger (1972). Este modelo, que também se encontra descrito na norma EN ISO 7730:2005, usa uma escala de conforto térmico de -3 a 3 para descrever o nível de conforto térmico, desenvolvida por Gagge et al. (1941). Esta escala encontra-se esquematicamente representada na Figura 2.1. O valor -3 corresponde a uma sensação de muito frio e o valor de 3 a muito quente. Os valores -1, 0 e 1 significam neutralidade térmica em relação ao mesmo e, conseqüentemente, as pessoas insatisfeitas são as que classificam o ambiente com -3, -2, 2 e 3.

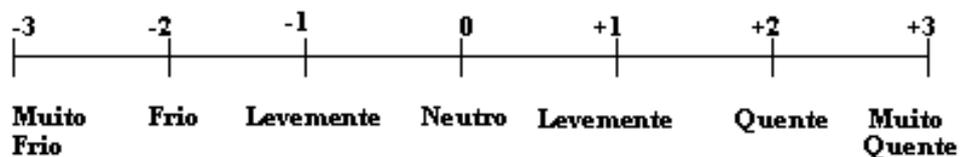


Figura 2.1 - Representação esquemática da escala de conforto térmico para votação dos ocupantes

Fanger obteve uma equação geral de conforto onde estão incluídas todos os parâmetros físicos definidores do ambiente térmico e propôs um índice para calcular o voto médio de um grupo de pessoas a partir dos parâmetros que intitulou de “*Predicted Mean Vote*” (PMV), ou Voto Médio Previsível. Este índice traduz a sensibilidade humana à temperatura ambiente. Fanger sugeriu que a percentagem de pessoas insatisfeitas (PPD, “*Predicted Percentage of*

Dissatisfied”) está correlacionada com o PMV. O modelo em questão é apresentado na Figura 2.2.

A partir da Figura 2.2 pode-se constatar que o valor do índice PPD varia de forma gaussiana com o valor de PMV. Também se conclui que é impossível agradar a 100% dos ocupantes, uma vez que o valor do índice de PPD nunca chega aos 0%, mas ronda os 5%. Isto deve-se ao facto de as pessoas percecionarem de maneira diferente o ambiente térmico e de não haver uma temperatura que satisfaça 100% da amostra.

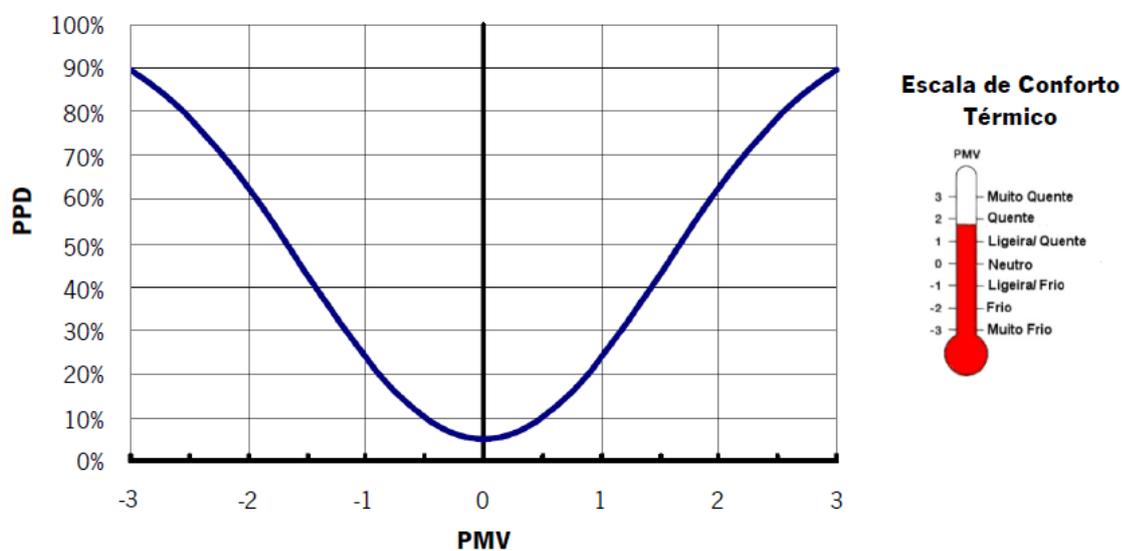


Figura 2.2 - Relação entre os índices PMV e PPD e escala de Fanger para o conforto térmico (adaptado de EN ISO 7730:2005)

Através deste modelo é possível calcular os índices de satisfação mencionados anteriormente. O cálculo tem por base as expressões analíticas que resultaram da correlação entre as avaliações subjetivas de painéis de avaliadores e os ambientes a que os mesmos foram sujeitos durante o estudo. As expressões necessárias à quantificação dos índices PMV e PPD encontram-se apresentadas na norma EN ISO 7730:2005.

2.2.2. Iluminação

A luz é a radiação eletromagnética pulsante num comprimento de onda sensível ao olho humano. Além da luz visível, existem outras ondas eletromagnéticas: raios gama, raios x, ultravioleta, infravermelho, micro-ondas, ondas de rádio e tv, como apresenta a Figura 2.3.

Estas ondas eletromagnéticas diferem na sua frequência e comprimento de onda. A luz visível compreende comprimentos de onda entre os 400 e os 750 nm, sujeita a pequenas variações dependendo do indivíduo. As cores são interpretações do cérebro humano devido às distintas frequências das ondas captadas pela visão.

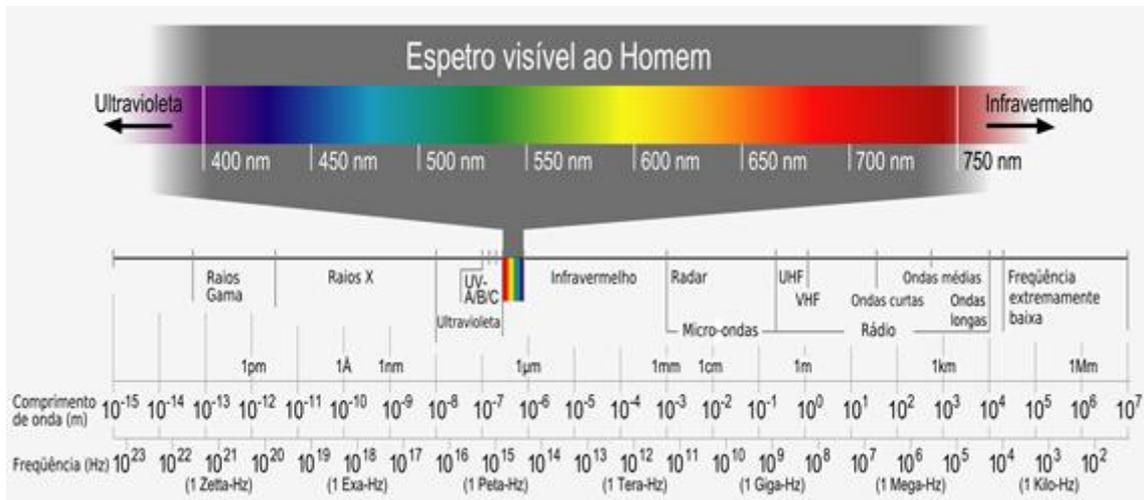


Figura 2.3 - Espectro da radiação eletromagnética

As ondas eletromagnéticas são, essencialmente, definidas por três características: a amplitude, frequência e polaridade. A amplitude é a medida da magnitude da máxima perturbação do meio durante um ciclo da onda. A frequência é o número de oscilações que ocorrem por unidade de tempo. A polaridade é uma medida da variação do vetor do campo elétrico das ondas eletromagnéticas com o decorrer do tempo. Outras características importantes são o período e o comprimento de onda. O período trata-se do tempo em que ocorre a oscilação completa de uma onda enquanto o comprimento de onda é a distância que a onda percorre durante esse período (Mateus, 2009).

Algumas unidades fotométricas mais comuns para caracterizar a luminosidade são:

- O **fluxo luminoso**, cuja unidade SI é o Lúmen [lm], que representa a luz total emitida por uma fonte luminosa ou a luz total incidente numa superfície;
- A **intensidade luminosa**, cuja intensidade SI é a candela [cd], que representa a potência da fonte ou da superfície recetora da luz numa determinada direção;
- A **iluminância**, cuja unidade SI é o lux [lx], que representa o fluxo luminoso incidente por unidade de área;
- A **luminância**, cuja unidade SI é candelas por m² [cdm⁻²], que expressa a intensidade da luz emitida numa determinada direção por unidade de área de uma superfície luminosa ou refletora.

Os olhos, assim como outros órgãos do corpo humano, não respondem aos estímulos extremos de forma passiva, adaptando-se aos níveis de luminosidade existentes no meio ambiente. Em ambientes mal iluminados o diâmetro da pupila aumenta de forma a entrar maior quantidade de luz, enquanto em ambientes muito claros o diâmetro da pupila diminui, de modo a reduzir a entrada de luz. Ocorrem, também, situações em que há uma mudança brusca de nível de iluminação, designada por sensação de ofuscamento. Este processo é a adaptação do olho ao novo nível de iluminação e o seu período pode oscilar entre os dois e os vinte minutos. Desta forma, a luz pode causar uma sensação de desconforto para o ocupante (Alcobia, 2006).

Atualmente, existem recomendações dos valores limites para a iluminação em espaços interiores, como por exemplo Boyce (1981), a norma CIBSE (1994) ou a pré-recomendação da Commission Internationale de L'Éclairage (CIE, 1970; 1975). Estas baseiam-se na correlação entre os níveis de iluminação e as respostas subjetivas dos seus ocupantes, usando como parâmetros a iluminância e relações de iluminância, a cor da luz e o índice de ofuscamento.

A nível nacional não existe regulamentação para o ambiente luminoso no interior dos edifícios, mas a nível europeu, a norma EN 12464-1:2002 indica valores mínimos de iluminância para o interior de edifícios (Tabela 2.6). A norma EN 12193:1999 indica valores mínimos de iluminância para a prática de desportos. Recentemente, surgiu a norma EN 15251:2007, onde a qualidade da iluminação é avaliada consoante a iluminância assim como a EN 12464-1:2002 (Alcobia, 2009).

Não existe, de momento, um índice internacionalmente aceite que correlacione a iluminância com o nível de desconforto provocado. No entanto, já houve tentativas nesse sentido e um dos primeiros modelos proposto partiu de Fisher (1970) onde este relaciona a iluminância com o seu nível de satisfação. Na Figura 2.4, é apresentada a relação inversa desse estudo, isto é, o nível de insatisfação em função da iluminância. Deste estudo é possível concluir que a insatisfação é minimizada quando a iluminância atinge um valor de 2000 lux.

Foram, entretanto, surgindo modelos para a previsão do desconforto visual dos quais se destacam: o Índice Britânico de Ofuscação (Hopkinson e Bradley, 1960; Hopkinson, 1963; Hopkinson e Collins, 1963); o Limite de Luminância (Bodmann, 1967), o Índice de Ofuscação CIE (CIE 55, 1983), a Escala de Ofuscação Unificada (Eindhorn, 1969, 1979, 1998; CIE 117- 1995) e a Probabilidade de Conforto Visual (IESNA, 2000).

Tabela 2.6 - Exemplos de valores de iluminância recomendados pela norma EN 12464-1:2002

Tipo de edifício	Compartimentos	Iluminância nas áreas de trabalho (lx)	Distância ao solo do plano de referência (m)
Serviços	Escritórios individuais	500	0,8
	Escritórios " <i>open space</i> "	500	0,8
	Salas de reuniões	500	0,8
Escolares	Salas de aula	300	0,8
	Salas de aula para a educação sénior	500	0,8
	Auditórios	500	0,8
Hospitalares	Enfermarias	100	0,8
	Salas de exame	300	0,8
	Salas de exame e tratamento	1000	0,8
Desportivos	Área de desporto	300	0,1
Comerciais	Área de vendas	300	0,8
	Exposição	500	0,8
Locais de circulação	Corredores	100	0,1
	Escadas	150	0,1
Outros edifícios	Consultar na norma EN 12464-1		

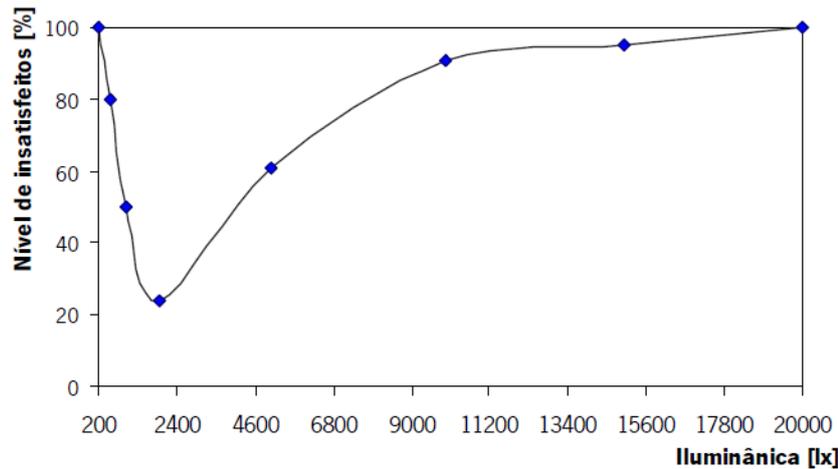


Figura 2.4 - Nível de insatisfação em função da iluminância (adaptado de Fisher, 1970)

2.2.3. Ambiente acústico

A acústica é um ramo da física que estuda o som, incluindo esta todas as ondas sonoras dos meios elásticos (sólido, líquido ou gasoso), quaisquer que sejam as suas amplitudes e frequências, incluindo: infrassons, ultrassons e híper sons.

O ramo da acústica das construções preocupa-se em providenciar conforto nesta matéria aos seus ocupantes, dando-lhes um ambiente de acordo com as atividades que pretendem realizar. Para esse efeito, os projetistas terão que recolher todas as informações necessárias para poder organizar e executar o projeto, de forma a anular os ruídos ou, pelo menos, minimiza-los. Tendo em conta este objetivo, o fenómeno que importa estudar é a propagação das ondas sonoras pelo ar, meio este onde as ondas sonoras correspondem a variações de pressão em torno da pressão atmosférica e são provocadas por excitações das partículas de ar. O ouvido humano capta o som através das frequências e das intensidades das ondas sonoras. A frequência do som é o número de oscilações de pressão que ocorrem por unidade de tempo, enquanto a intensidade corresponde à diferença de pressão entre uma onda de baixa pressão e uma onda de alta pressão (Almeida et al., 2008).

O ouvido é órgão responsável pela audição e este apenas consegue distinguir sons com frequências entre os 20 e os 20 000 Hz, sendo que o intervalo de conforto se situa entre os 125 e os 4 000 Hz, uma vez que é neste intervalo que se concentra a maior parte da energia produzida pela voz. Quanto à pressão, o seu limiar está situado nos 20 μ Pa.

Para quantificar um ambiente acústico e avaliar o respetivo conforto acústico percebido pelo ser humano recorre-se ao nível sonoro a que o mesmo está exposto. Este nível sonoro exprime-se em decibel (dB) e quanto maior for a intensidade do som, maior será o nível de desconforto e vice-versa (Almeida et al, 2008).

A norma ISO 226:2003 contém as curvas isofónicas (Figura 2.5) que representam a correlação entre a pressão sonora (objetiva) e a sensação sonora (subjéctiva). Estas têm em conta o intervalo de frequências audíveis e os níveis extremos correspondentes ao limiar de audição e limiar de dor. Estas curvas foram apresentadas por Fletcher e Munson (1933) e encontram-se a tracejado na Figura 2.5. Na referida norma estas curvas já se encontram atualizadas e reajustadas (apresentadas a traço contínuo na Figura 2.5).

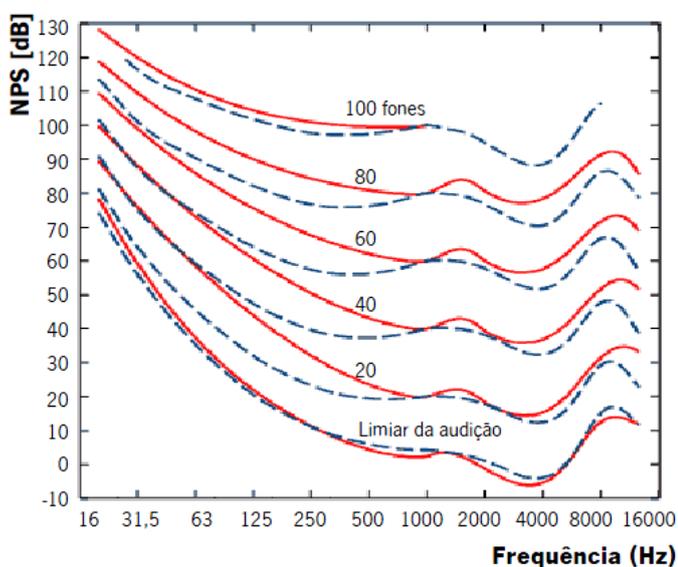


Figura 2.5 - Curvas isofónicas (adaptado de ISO 226:2003)

Através destas curvas criaram-se quatro filtros de ponderação (A, B, C e D) que permitem ajustar o nível de pressão sonora à perceção do ouvido. A curva de ponderação A é a que representa o sistema auditivo humano e a unidade de medição por estas utilizada é o decibel (dB(A)).

A nível europeu, a norma EN 15251:2007 recomenda valores para o nível de pressão sonora nos espaços interiores em diferentes tipos de edifícios, como consta na Tabela 2.7.

Tabela 2.7 - Valores recomendados para o nível de pressão sonora para espaços interiores
(adaptado de EN 15251:2007)

Tipo de edifício	Tipo de compartimento	Nível de pressão sonora [dB (A)]	
		Gama de valores recomendados	Valor a adotar por defeito no projeto
Residencial	Sala de estar	25 a 40	32
	Quarto	20 a 35	26
Instituições de apoio a crianças	Infantários	30 a 45	40
	ATL	30 a 45	40
Locais de assembleia	Auditórios	30 a 45	33
	Livrarias	28 a 35	30
	Cinemas	30 a 35	33
	Tribunais	30 a 40	35
	Museus	28 a 35	30
Comercial	Mercearias	35 a 50	40
	Armazéns	40 a 50	45
	Supermercados	40 a 50	45
	Sala de computadores, grande	40 a 60	50
	Sala de computadores, pequena	40 a 50	45
Hospitalar	Corredores	35 a 45	40
	Blocos operacionais	30 a 48	40
	Enfermarias	25 a 35	30
	Quartos, noite	20 a 35	30
	Quartos, dia	25 a 40	30
Hotel	Lobbies	35 a 45	40
	Receção	20 a 35	40
	Quartos, noite	25 a 35	30
	Quartos, dia	30 a 40	35
Serviços	Pequenos escritórios	30 a 40	35
	Salas de reunião	30 a 40	35
	Escritórios "open space"	35 a 45	40
	Cubículos	35 a 45	40
Restaurante	Cafetarias	35 a 50	40
	Salas de refeições	35 a 50	45
	Cozinhas	40 a 60	55
Escolar	Salas de aula	30 a 40	35
	Corredores	35 a 50	40
	Ginásios	35 a 45	40
	Salas de professores	30 a 40	35

Em Portugal, a avaliação do comportamento acústico das construções não é realizada através dos níveis de pressão sonora, mas através da análise do isolamento acústico dos diversos elementos construtivos da envolvente e do acondicionamento acústico de certos compartimentos. Neste contexto existe a norma NP 1730:1996, que estabelece os procedimentos para a caracterização do ambiente sonoro no interior e exterior dos edifícios, mas que, contudo, não impõe quaisquer limites para os níveis de pressão sonora.

2.2.4. Qualidade do ar

A qualidade do ar está diretamente relacionada com o sistema respiratório. O ar é conduzido do nariz até aos pulmões, humedecendo, purificando e executando outras funções como a produção de voz ou perceção de cheiros.

O sistema olfativo tem uma boa capacidade adaptativa. Quando se é exposto a um odor muito intenso, há uma forte sensação, mas passado pouco tempo torna-se impercetível. No entanto, apenas consegue detetar um único odor de cada vez, sendo que um odor pode resultar da combinação de vários odores (Alcobia, 2006).

O nível de satisfação relativo à qualidade do ar está diretamente relacionado com a composição do mesmo. Considera-se um ar puro, aquele que apresenta os seus constituintes básicos sem qualquer tipo de substâncias poluentes. Porém, atualmente é rara a situação em que as pessoas se encontram expostas a um ar puro (Mateus, 2009).

Um dos principais poluentes atmosféricos é o CO₂. Este gás, mormente, é proveniente da queima de combustíveis fósseis. Outros poluentes são o monóxido de carbono, as partículas em suspensão, o dióxido de azoto, o ozono, o dióxido de enxofre e o chumbo. A acrescentar a estes ainda há fontes de emissão de metais pesados, compostos orgânicos voláteis, dioxinas e furanos, que são conhecidos efeitos nocivos na saúde, especialmente para o sistema respiratório (Araújo, 2007).

Ultimamente tem-se assistido a uma crescente exigência a nível térmico e acústico e, por conseguinte, as envolventes dos edifícios passaram a ser mais estanques, o que levou a uma diminuição significativa da taxa de renovação natural do ar interior. Esta situação traduz-se num aumento da concentração dos poluentes emitidos no interior do edifício (Mateus, 2009).

Segundo Almeida et al. (2008), as fontes dos poluentes do ar mais comuns nos edifícios correntes são:

- O **fumo do tabaco** que, entre outros, liberta gases inorgânicos, metais pesados, partículas e compostos orgânicos voláteis (COVs);
- Os **materiais de acabamento e produtos utilizados na manutenção do edifício**, que na sua constituição apresentam formaldeído e COVs;
- Os **sistemas de climatização**, caso não haja manutenção originam o desenvolvimento de agentes biológicos;
- O **ser humano**, responsável pela libertação de bio efluentes humanos e de suores.

A permanência de pessoas em edifícios sem ventilação leva à perda de qualidade de ar no interior dos mesmos, uma vez que há libertação de gases bio efluentes nos processos respiratórios e noutras atividades desenvolvidas assim como os materiais de construção libertam COVs.

Apesar de inviável, a melhor maneira de medir a qualidade do ar seria através de uma análise à sua composição e concentração dos seus constituintes. Como alternativa, a ASHRAE 62 (1989) começou por estabelecer para os edifícios um número mínimo de renovações de ar, em função do tipo de utilização e do número de ocupantes previstos. No entanto, esta abordagem não era correta por apenas considerar que a única fonte poluidora eram os seus ocupantes e por considerar dois tipos de situações: presença ou não de fumadores (Alcobia, 2006).

Com o objetivo de definir corretamente os indicadores da qualidade do ar, Brown (1997) definiu três grupos para os indicadores da qualidade do ar no interior de recintos fechados:

- Indicadores do nível de ventilação: temperatura, humidade e dióxido de carbono;
- Indicadores de poluentes: monóxido de carbono, formaldeídos, dióxido de azoto e ozono;
- Indicadores multi-poluentes: COVs e partículas.

Destes grupos, os indicadores do nível de ventilação são os mais utilizados, sendo que a medição de concentração de dióxido de carbono é a solução mais recorrente para se avaliar a qualidade do ar. O dióxido de carbono (CO₂) trata-se de um gás que não traz desconforto direto às pessoas uma vez que é um gás inodoro, e apenas ultrapassando os 1000 ppm (partes por milhão) pode provocar dores de cabeça, irritação dos olhos e garganta ou fadiga. Através

do volume do espaço, o número de ocupantes e a concentração de CO₂ no ar exterior, obtém-se a taxa de ventilação (Mateus, 2009).

Deste modo, e uma vez que ainda não foi publicado um índice normalizado internacionalmente aceite, a avaliação da qualidade do ar de um ambiente interior é geralmente realizada tendo por base critérios como níveis mínimos de ventilação ou concentrações máximas de CO₂.

Um dos estudos mais conhecidos encontra-se publicado na EUR 14449 e relaciona a concentração de CO₂ com o nível de desconforto percebido pelos ocupantes. O resultado deste estudo encontra-se na Figura 2.6.

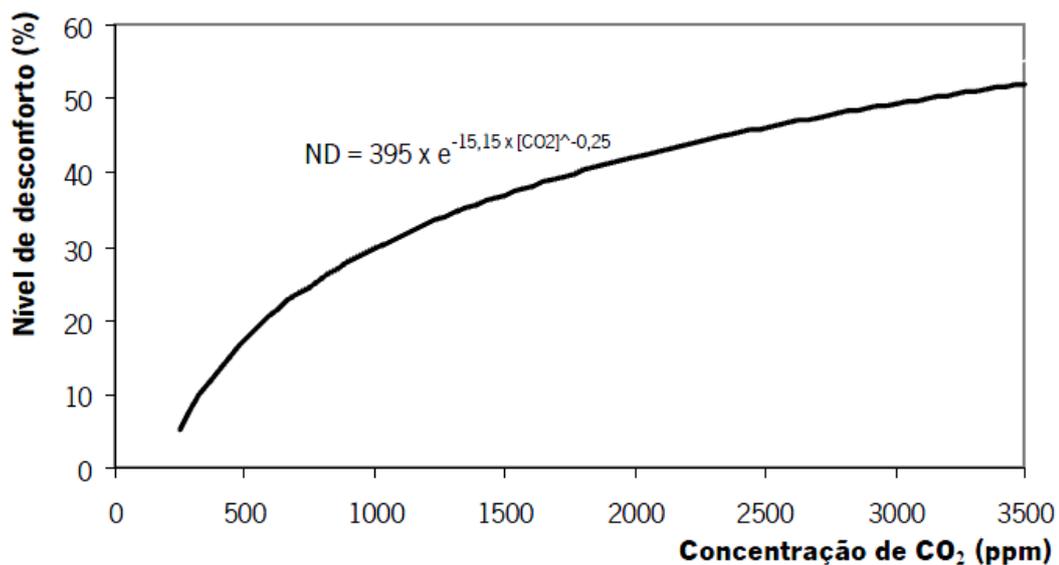


Figura 2.6 - Nível de desconforto em função da concentração de CO₂ (adaptado de EUR 14449)

No que concerne à qualidade do ar em recintos fechados, a norma europeia EN 15251:2007 considera três critérios:

- Nível de ventilação em função dos bio efluentes libertados pelos ocupantes e das emissões libertadas pelos materiais de construção;
- Nível de ventilação em função do número de pessoas ou por metro quadrado de área útil do recinto, sendo apenas considerados os poluentes libertados pelas pessoas;
- Nível de ventilação baseado num balanço de massa e em critérios associados à concentração de CO₂.

Quanto a Portugal, existem dois diplomas legais que regulam os critérios de qualidade do ar em recintos fechados: o RSECE (Decreto-Lei n.º 79/2006) e o RCCTE (Decreto-Lei n.º 80/2006). O RCCTE está orientado para edifícios ou frações residenciais impondo taxas de referência para a renovação de ar, sempre com um valor mínimo de 0,6 rph (renovações de ar por hora). O RSECE é direcionado para edifícios de serviços com exigências de valores mínimos de renovação de ar por espaço e limitações através de valores máximos de concentração de poluentes, assim como, exige a manutenção de todos sistemas energéticos construídos ou existentes com o intuito de manter a qualidade do ar interior (RSECE, 2006 e RCCTE, 2006).

2.3. Índices integrados de conforto

Apesar dos ocupantes de um espaço se encontrarem simultaneamente expostos aos vários estímulos que condicionam a perceção de conforto ao nível de um espaço interior, na generalidade dos casos os parâmetros ambientais são avaliados de forma individual (Mateus, 2009).

Atualmente, ainda não existe um índice internacionalmente aceite para a conjugação de vários parâmetros onde este seja expresso por um único valor para estimar o conforto global percebido pelos ocupantes. No entanto, a norma EN 15251: 2007 é uma norma pioneira que aborda vários fatores que influenciam o conforto: qualidade do ar, ambiente higrotérmico, iluminação e ambiente acústico. Esta está vocacionada para abranger os principais parâmetros de conforto e apesar de caracterizar cada um deles individualmente, tem como objetivo a maximização do conforto global percebido. Este último, resulta da maximização do comportamento do edifício ao nível de cada um dos fatores.

No que diz respeito ao desenvolvimento de um índice de conforto são conhecidos alguns estudos relacionados com o assunto. Foram alvo de análise três estudos, o estudo realizado por Humphreys (2005), Chappels e Shove (2005) e o estudo realizado por Mateus (2009). O primeiro, por ser um estudo que envolve vários indicadores ambientais (tal como o índice que é pretendido para este trabalho) e pelas suas relevantes conclusões. O segundo, por se tratar de um estudo focado no conforto e ambiente interior onde são obtidas conclusões que se verificaram importantes para perceção humana em relação aos mesmos. O terceiro, por se tratar de um índice em tudo semelhante ao que se pretende desenvolver, uma vez que este terá em conta os mesmos indicadores e será utilizada a mesma amostra de dados recolhida pelo autor.

Relativamente ao primeiro estudo mencionado, o trabalho realizado por Humphreys (2005) é o que merece mais destaque a nível europeu. Este investigador realizou um trabalho onde combinou mais que um indicador de conforto. Os indicadores ambientais que teve em conta foram o térmico, visual e acústico, qualidade do ar interior, campos eletromagnéticos e eletricidade estática.

Segundo o mesmo, a qualificação geral de um edifício depende da importância atribuída pelo ocupante aos diferentes fatores. Esta importância não depende apenas das preferências pessoais do ocupante, mas também do tipo de tarefa/trabalho com a qual o mesmo está comprometido.

No âmbito do projeto SCATs (*Smart Controls and Thermal Comfort*) financiado pela Comissão Europeia, foram recolhidos dados em 26 edifícios de escritórios em cinco países. Estes dados resultaram de medições do ambiente interior feitas em áreas de trabalho selecionadas, relativamente ao ambiente termo higrométrico, à qualidade do ar, ao ruído e à luminosidade. As pessoas que participaram foram visitadas mensalmente e mais de 4500 visitas foram feitas. Um sistema móvel automatizado de aquisição de dados registou a temperatura do ar, temperatura radiante média, a humidade relativa, a velocidade do ar, a concentração de dióxido de carbono no ar, a iluminação e o nível de pressão sonora nos locais de trabalho. As temperaturas exteriores foram obtidas a partir de estações meteorológicas nas proximidades.

Embora as medições físicas fossem gravadas, as impressões subjetivas e avaliações fornecidas pelos participantes foram obtidas através de um questionário aos mesmos. Os participantes foram entrevistados e solicitados a avaliar o ambiente no seu local de trabalho. O questionário incluiu escalas de avaliação para a sua sensação térmica, a sua preferência térmica, bem como escalas de preferência para o movimento do ar, humidade, luz, som e qualidade do ar. As respostas ao questionário referem-se ao ambiente no momento da entrevista e devem ser distinguidas das impressões gerais sobre o sucesso ou fracasso do edifício para proporcionar um ambiente interior adequado durante o verão ou inverno.

No estudo referido, foi desenvolvido um índice integrado para o ambiente interior onde combinou 6 indicadores: sensação térmica, movimento do ar, humidade, luz, som e qualidade do ar. Como resultado, o índice obtido é o que se apresenta na Equação 2.2:

$$I = 1,24 + 0,39.S_w + 0,165.S_{am} + 0,12.S_h + 0,05.S_l + 0,135.S_n + 0,36.S_{aq} \quad (2.2)$$

onde, I é o índice de conforto, S_w é a satisfação com o ambiente térmico, S_{am} é a satisfação com o movimento do ar, S_h é a satisfação com a humidade, S_l é a satisfação com a luminosidade, S_n é a satisfação com o ruído e S_{aq} é a satisfação com a qualidade do ar.

Após a análise dos dados através de Regressão Linear, Michael Humphreys concluiu que a insatisfação com um aspeto do ambiente não leva necessariamente à insatisfação com o conforto do ambiente global. Da mesma forma, a aprovação em relação a um aspeto não leva à aprovação do nível geral de conforto. Pelo contrário, é uma espécie de média subjetiva dos vários aspetos que leva a que um bom recurso possa compensar outro insatisfatório. A satisfação do nível de aspetos diferentes não contribui igualmente para o nível geral de conforto, existindo uma média ponderada subjetiva.

Neste estudo concluiu-se que a aprovação dos níveis de calor e qualidade do ar são mais importantes que a aprovação dos níveis de iluminação ou humidade. Os dados estudados revelaram que esses pesos relativos podem diferir para diferentes populações. Isto leva a concluir que diferentes grupos de pessoas necessitam de ambientes interiores com características diferentes e assim não é, sequer, teoricamente possível conceber um índice que expresse, num único valor, a classificação de um ambiente interior para realidades culturais distintas. Esta observação sugere que o conforto ambiental é flexível, sujeito a variações

culturais e históricas, e não completamente constrangidos pela fisiologia humana. Isto é consistente com Chappells e Shove (2005) que argumentam que "o conforto é uma construção sociocultural altamente negociável". Tal, levou a concluir que a importância relativa de diferentes parâmetros de conforto varia de país para país, o que dificulta a definição de um índice internacionalmente válido que permita a classificação da qualidade de um ambiente interior através de um único valor.

Outra condicionante é o facto dos pesos dos indicadores poderem variar ao longo do tempo, uma vez que o conforto é algo que varia com a evolução das exigências humanas de conforto. Os estudos realizados por Shove (2003) e Chappells & Shove (2005), demonstram existir diferenças significativas entre o passado e o presente, originando uma necessidade em atualizar os pesos dos indicadores em certos intervalos de tempo.

Para concluir, Humphreys (2005) não recomenda índices combinados pelo facto destes dificilmente superarem os índices ou escalas, descrevendo singularmente os vários componentes do ambiente. Pareceu-lhe prudente continuar a considerar cada aspeto separadamente de acordo com as normas que foram desenvolvidas, ao invés de confiar apenas numa avaliação geral.

Em Portugal também já foi feito um estudo no mesmo sentido por Mateus (2009), onde se recorreu à Regressão Múltipla para a modelação da resposta humana a cada um dos estímulos analisados e para a modelação da resposta humana a um determinado ambiente, tendo sido utilizado o método dos “quadrados mínimos” para o ajuste dos parâmetros internos do modelo. Há, também, a enfatizar que se combinou a realização de avaliações objetivas (recolha de parâmetros físicos) e avaliações subjetivas (inquéritos ao conforto dos ocupantes). Neste estudo, foi desenvolvido um índice integrado que traduz o nível de desconforto global (ND_G) de um ambiente interior em função do nível de desconforto térmico (ND_{TE}), nível de desconforto lumínico (ND_{IL}), nível de desconforto acústico (ND_{AC}), nível de desconforto em relação à qualidade de ar (ND_{QA}) e do peso subjetivo relativo (W_i), onde se concluiu a equação final, a Equação 2.3.

$$ND_G = 0,3411 * ND_{TE} + 0,2583 * ND_{IL} + 0,1997 * ND_{AC} + 0,2489 * ND_{QA} \quad (2.3)$$

Estes valores foram utilizados no desenvolvimento do sistema de pesos dos indicadores da categoria “Conforto e saúde dos utilizadores” da metodologia MARS-H (Tabela 2.8).

Tabela 2.8 - Sistema de pesos adotado nos indicadores da categoria "Conforto e Saúde dos Utilizadores" da metodologia MARS-H (Mateus, 2009)

ID	Indicador	Peso (%)
P16	Eficiência da ventilação natural em espaços interiores	11,9
P17	Toxicidade dos materiais de acabamento	11,9
P18	Conforto térmico	32,5
P19	Conforto visual	24,6
P20	Conforto acústico	19,1

De referir que o peso da qualidade do ar foi distribuído equitativamente pelos parâmetros P16 e P17 por não haver uma metodologia detalhada nesse campo.

No que a Portugal diz respeito, o trabalho que mais se assemelha com este estudo foi realizado em 2006 por Alcobia, que teve como objetivo o desenvolvimento de um índice integrado de conforto em veículos. Foram utilizados como indicadores da qualidade do ambiente interior parâmetros como a qualidade acústica, ambiente higrotérmico, vibrações, qualidade do ar e luminosidade.

2.4. Data Mining

Devido aos avanços nas tecnologias de informação, atualmente são enormes as quantidades de dados que se consegue recolher. Nestas bases de dados pode encontrar-se escondida informação útil à tomada de decisão (e.g., padrões ou tendências). A área de **Descoberta de Conhecimento em Bases de Dados**, do inglês *Knowledge Discovery in Databases (KDD)*, tem como objetivo a extração de conhecimento útil a partir de dados em bruto (Fayyad et al., 1996).

O processo de KDD é constituído por várias etapas, tal como se pode verificar na Figura 2.7, na qual se inclui formalmente o *Data Mining*. Esta etapa visa seleccionar os métodos e técnicas necessárias para encontrar padrões e relações em bases de dados de grande dimensão ou complexidade, previamente desconhecidos e potencialmente interessantes e por sua vez extraí-los (Fayyad et al., 1996). Como atualmente o termo *Data Mining* (mais sonante) é

muitas das vezes utilizado como um sinónimo do processo de Descoberta de Conhecimento em Bases de Dados, nesta dissertação optar-se-á também por este uso mais abrangente do termo.

O *Data Mining* é um processo iterativo que tem como objetivo o uso de ferramentas (semi-)automáticas para efetuar uma análise de uma quantidade de dados brutos e extrair/descrever conhecimento de bases de dados que servirão como tomada de decisão para os seus utilizadores (Cortez, P., 2010). Este processo recorre à estatística, matemática, inteligência artificial e técnicas de aprendizagem para extrair e determinar padrões observados nos dados. Por conseguinte, consoante o tipo de base de dados e o problema a solucionar, é efetuada a escolha da técnica que melhor se aplica à situação para obter a solução desejada (Cortez, B., 2005).

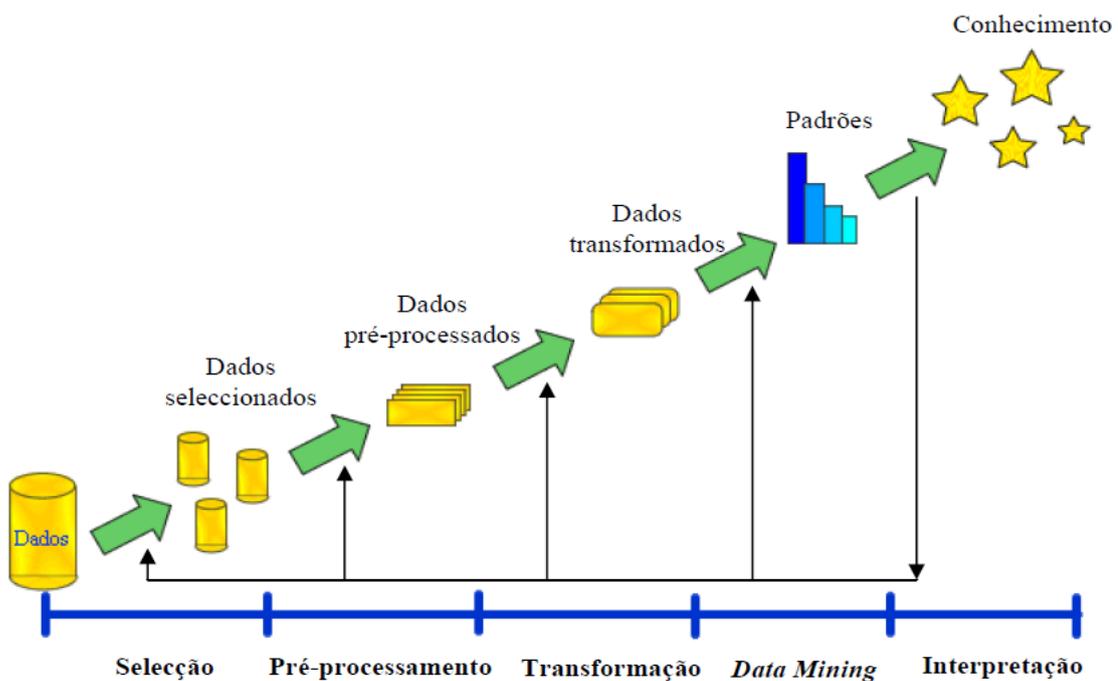


Figura 2.7 - Processo de KDD (adaptado de Fayyad et al, 1996)

Tal como exemplifica a Figura 2.8, dentro do *Data Mining* existem dois tipos de abordagens ou estratégias que podem ser usadas: o modelo de verificação e o modelo de descoberta. Para o modelo de verificação, o sistema verifica hipóteses formuladas pelo utilizador e testa a sua validade consultando os dados para afirmar ou negar as hipóteses. Nenhuma informação é criada, apenas há verificação das hipóteses na base de dados. No modelo de descoberta o

sistema descobre automaticamente a informação relevante que está escondida nos dados, pesquisando de forma a encontrar padrões frequentes, tendências e generalizações, sem a intervenção humana (Azevedo e Santos, 2005).

Neste último, o ramo está subdividido em métodos de descrição e métodos de previsão. Os métodos de descrição interpretam os dados e focam-se em efetuar uma procura por padrões de maneira a apresentar o conhecimento de forma compreensível. Os métodos de previsão interpretam os dados e procuram construir padrões que permitam prever o valor do atributo de saída, ou seja, o valor de uma ou mais variáveis relacionadas com a amostra de dados (Maimon and Rokach, 2005).

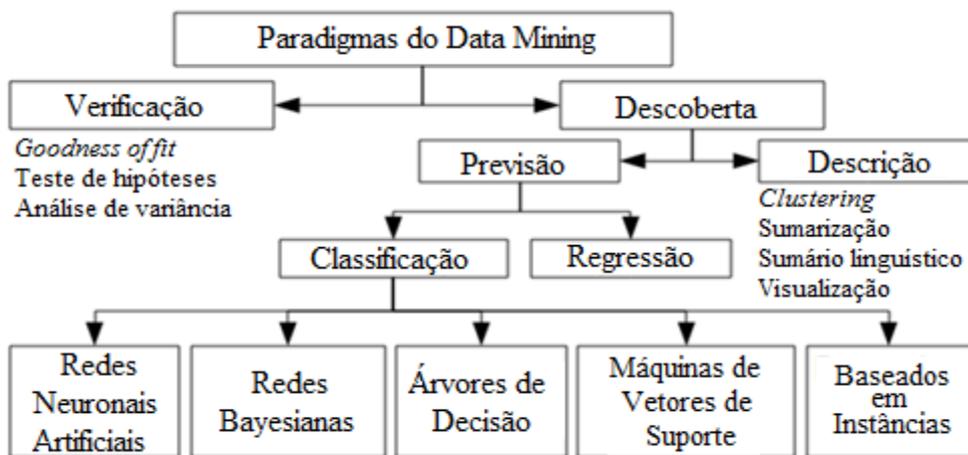


Figura 2.8 - Taxonomia do Data Mining (adaptado de Maimon and Rokach, 2005)

Dentro dos métodos de previsão existem duas classes: modelos de classificação e os modelos de regressão. Os modelos de classificação procuram encontrar uma função que mapeie os dados em classes pré-definidas, de forma a classificar um novo objeto de acordo com um modelo de classificação. Os modelos de regressão procuram encontrar uma função que preveja uma variável de maneira que esta represente de forma muito semelhante o comportamento das variáveis (Azevedo e Santos, 2005).

2.4.1. Metodologia CRISP-DM

Existem duas metodologias de *Data Mining* que se destacam: a SEMMA e o CRISP-DM (Azevedo e Santos, 2005). A SEMMA cuja sigla significa *Sample, Explore, Modify, Model, Assesment*, foi desenvolvida pela empresa SAS, que se encontra na área de negócio de *Business Intelligence* e o Suporte à Decisão. Quanto ao CRISP-DM, cuja sigla significa *Cross Industry Standart Process for Data Mining*, foi desenvolvida por um consórcio constituído por NCR *Systems Engineering Copenhagen* (EUA e Dinamarca), DaimlerChrysler AG (Alemanha), SPSS Inc. (EUA) e *OHRA Verzekeringen en Bank Groep B.V.* (Holanda) (Chapman et al, 2000).

A metodologia CRISP-DM é descrita em termos de um modelo de processos hierárquico que consiste num conjunto de tarefas com quatro níveis de abstração: fases, tarefas genéricas, tarefas especializadas e instâncias de processos. Esta metodologia tem o seu ciclo de vida dividido em seis fases: compreensão do negócio, compreensão dos dados, preparação dos dados, modelação, avaliação e implementação. Não há uma sequência fixa uma vez que tudo depende dos resultados ou do desempenho das outras fases (Chapman *et al.*, 2000). Na Figura 2.9 encontra-se representado o ciclo de vida da metodologia CRISP-DM.

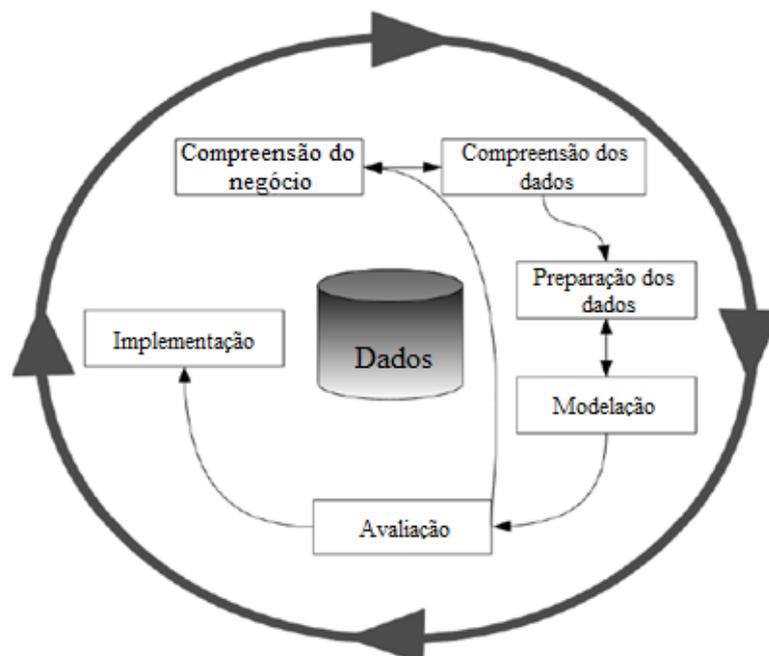


Figura 2.9 - Ciclo de vida da metodologia CRISP-DM (adaptado de Chapman *et al.*, 2000)

2.4.1.1. Compreensão do negócio

Sendo a primeira fase da metodologia CRISP-DM, a compreensão do negócio foca-se na determinação dos objetivos do projeto e dos respetivos requisitos do negócio para tornar possível a definição deste num problema de *Data Mining* e conseqüentemente efetuar um plano preliminar de maneira a alcançar-se os objetivos pretendidos (Chapman *et al.*, 2000).

Para este trabalho, tem-se como objetivo construir modelos capazes de prever o nível de desconforto global de acordo com os quatro parâmetros que mais o influenciam.

Os modelos esperados servirão para ajudar a identificar quais os parâmetros mais relevantes na avaliação de um ambiente global de maneira a serem um auxiliar no processo de decisão, isto pretendendo a maximização do nível global de conforto.

Após esta fase, é fundamental converter este conhecimento numa técnica de *Data Mining* capaz de traduzir os objetivos propostos. Uma vez que se tratam apenas de valores numéricos, optou-se por uma abordagem de Regressão para se tentar uma modelação de uma função entre um conjunto de variáveis independentes e dependentes.

2.4.1.2. Compreensão dos dados

Esta fase, a fase de compreensão dos dados, inicia-se com uma recolha de dados e com atividades que permitirão perceber os mesmos assim como identificar problemas de qualidade, ter uma perceção inicial das relações entre eles ou identificar subconjuntos interessantes que permitam formar hipóteses para a informação omitida (Chapman *et al.*, 2000).

2.4.1.3. Preparação dos dados

A fase de preparação dos dados envolve todas as atividades associadas à construção do conjunto de dados final (estes serão utilizados nas ferramentas de modelação) a partir dos dados brutos iniciais. É provável que estas tarefas de preparação sejam efetuadas diversas vezes sem que nenhuma ordem seja prescrita. As tarefas incluem a seleção de tabelas, registos e atributos, bem como a transformação e limpeza dos dados para as ferramentas de modelação (Chapman *et al.*, 2000).

Esta fase é explicada mais à frente, na Secção 3.2.3 – Tratamento dos dados obtidos, onde é descrito com detalhe todos os passos efetuados no tratamento de dados antes de se passar à fase da modelação.

2.4.1.4. Modelação

Na fase de modelação, várias técnicas de modelação são selecionadas e aplicadas e os seus parâmetros são ajustados de forma a otimizar os resultados. Das variadas técnicas, algumas têm requisitos específicos na forma dos dados, por isso às vezes é necessário voltar à fase de preparação dos dados (Chapman *et al.*, 2000).

I) Regressão Linear/Múltipla

A Regressão Linear/Múltipla são técnicas estatísticas que consistem em modelar uma relação linear de uma única variável dependente e de uma ou mais variáveis independentes. A partir desta modelação também é possível verificar as variáveis independentes que mais têm influência na variável dependente, isto é, qual o seu peso relativo. Esta técnica tem a condição de apenas usar variáveis numéricas (Hastie *et al.*, 2008) .

Na Regressão Linear é efetuada uma relação entre duas variáveis: X considerada independente, e Y considerada dependente, onde os valores de X_n são abcissas e os de Y_n coordenadas. Cada par de valores X_n e Y_n criará um ponto e a partir daí é possível calcular a equação de uma reta consoante o método que é escolhido, por exemplo o método dos mínimos quadrados. Na Regressão Linear as duas variáveis são relacionadas através de uma equação do tipo da Equação 2.4 (Hastie *et al.*, 2008):

$$Y = a + bX \quad (2.4)$$

onde: Y é a variável dependente, X a variável independente, a a constante e b o coeficiente de regressão.

Como exemplo de aplicação, a Regressão Linear foi aplicada à análise efetuada aos quatro parâmetros de conforto: temperatura, luminosidade, ruído e qualidade de ar. Este tinha como

variável independente o valor físico e como variável dependente o nível de desconforto em relação ao mesmo.

Na Regressão Múltipla é efetuada uma relação entre três variáveis no mínimo: duas ou mais variáveis independentes e uma variável dependente. Através desta é possível obter o peso específico de cada variável independente e a sua ordem de importância. Este modelo é definido pela equação da Equação 2.5 (Hastie et al., 2008):

$$Y_i = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i X_i, i = 1, 2, \dots, n \quad (2.5)$$

onde: Y_i é a variável dependente, X_i a variável independente e β_i o coeficiente de regressão.

A Regressão Múltipla foi a técnica aplicada para a modelação do nível de desconforto geral, onde este envolvia o nível de desconforto dos quatro parâmetros que o influenciavam.

II) Máquinas de Vetores de Suporte

As Máquinas de Vetores de Suporte são vocacionadas para uma aprendizagem supervisionada. Estas têm como objetivo reduzir o risco estrutural em vez de procurarem minimizar o risco empírico como as técnicas tradicionais, isto é, tentam minimizar a probabilidade de classificar mal padrões ainda por descobrir segundo uma probabilidade de distribuição de dados fixa, o que faz com que os resultados obtidos sejam na maioria das vezes superiores aos obtidos com outros algoritmos de aprendizagem, como é o caso das Redes Neurais Artificiais (Pontil e Verri, 1998).

Este processo de treino consiste na obtenção de valores para os pesos que definem um plano ideal de mapeamento, onde se pretende minimizar a função de custos (Pontil e Verri, 1998). Os valores dos pesos obtidos são ótimos e a não linearidade é obtida através da função *kernel*, que transforma o espaço original das entradas num espaço imaginário para que a separação seja do tipo linear.

III) Redes Neurais Artificiais

As Redes Neurais Artificiais são sistemas flexíveis que se aproximam com precisão de vários tipos de funções (Costa e Simões, 2008). Estas são modelos computacionais para o processamento de informação baseados em unidades de processamento (neurónios) ligadas entre si e organizadas em grupos (camadas). A partir destas é possível identificar relações num conjunto de variáveis ou padrões nos dados (Maimon e Lior, 2010). Esta técnica de *Data Mining*, por definição, é uma estrutura computacional composta por neurónios que se encontram conectados por ligações de entrada e saída, com cada ligação a ter um peso associado (Groth, 2000). Estas redes podem prever um valor de saída, classificar um objeto, aproximar uma função, reconhecer um padrão de dados e completar um padrão conhecido (Haykin, 1999).

IV) Árvores de Decisão

Uma árvore de decisão é uma estrutura de um fluxograma semelhante a uma árvore, em que cada nó interno significa um teste sobre um atributo, cada ramo representa um resultado do teste, e os nós folha representam classes ou distribuições de classe. O nó do topo da árvore é o nó raiz. Para classificar uma amostra desconhecida, os valores dos atributos da amostra são testados contra a árvore de decisão. Um caminho é traçado a partir da raiz até um nó folha que contém a classe de previsão para essa amostra. As árvores de decisão podem facilmente ser convertidas em regras de classificação (Han J. and Kamber M., 2006).

V) Random Forest

Random Forest é um modelo que combina as previsões de um número elevado de árvores de decisão, onde cada árvore prevista depende de vetores aleatórios independentes e com a mesma distribuição para todas as árvores. Cada árvore é efetuada recorrendo a uma amostra aleatória dos dados, sendo que cada árvore também é construída de forma aleatória acabando por construir diferentes árvores. Nas árvores tradicionais, os nós são divididos usando a melhor divisão entre as variáveis. Contudo, no *Random Forest*, os nós são divididos recorrendo ao melhor entre um subconjunto de variáveis selecionadas aleatoriamente no respetivo nó.

O erro de generalização para as florestas diminui com o aumento do número de árvores na floresta. Este depende da força das árvores individuais da floresta e da correlação entre eles (Breiman, 2001).

2.4.1.5. Avaliação

Já com um modelo construído para se proceder à implementação final do modelo é necessário efetuar uma avaliação do mesmo e consequentemente rever os passos executados na sua construção, tudo com o objetivo de verificar se os objetivos definidos são os alcançados. É importante rever o modelo de maneira a não ser esquecida nenhuma questão que não tenha sido devidamente considerada. Após esta fase, é decidido o que se poderá fazer com os resultados obtidos (Chapman et al., 2000).

I) Coeficiente de Determinação

O coeficiente de determinação, R^2 , consiste numa medida que determina a qualidade do modelo econométrico em relação à sua capacidade de prever corretamente os valores da variável dependente Y. Proporciona uma medida de quão bem os resultados futuros são suscetíveis de ser previstos pelo modelo. Este indica um valor compreendido entre 0 e 1 e quanto maior for o valor mais explicito é o modelo. A esse valor, pode-se fazer a conversão para percentagem traduzindo-se na percentagem de variação que Y é explicada pela variação de X (Ricci, 2010).

II) Erro Médio Absoluto

O erro médio absoluto é uma medida de erro também conhecida como desvio médio absoluto. Este quantifica o erro do modelo pelo cálculo da média dos desvios absolutos das suas previsões através da Equação 2.6.

$$EMA = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - r(\beta, x_i)| \quad (2.6)$$

Onde $r(\beta, x_i)$ é a previsão do modelo de regressão que se quer avaliar para os dados (x_i, y_i) (Torgo, 1999).

III) Regression Error Characteristic (REC)

As curvas REC são curvas que descrevem a função de distribuição acumulativa do erro de previsão de modelos. Estas permitem comparar diferentes modelos através da sua gama de erros e, portanto, fornece mais informações do que uma estatística de erros. Qualquer ponto numa curva REC fornece uma estimativa da probabilidade de o erro ser menor ou igual ao valor do respetivo eixo X.

Estas fornecem informações úteis para a análise de desempenho de modelos uma vez que apresentam graficamente um maior detalhe do desempenho dos diferentes modelos quando comparados (Torgo, 2005).

2.4.1.6. Implementação

A fase final do projeto, a fase de implementação, é a fase onde todo conhecimento obtido é organizado de maneira a ser apresentado ao cliente e este o possa utilizar. Esta fase, dependendo dos requisitos do projeto, pode ir da simples realização de um relatório à implementação de um processo *Data Mining* repetitivo no domínio real de aplicação (Chapman *et al.*, 2000).

2.4.2. Ferramenta R

R é uma linguagem e ambiente para a computação estatística e gráfica. Esta ferramenta fornece uma grande variedade de técnicas de estatística entre as quais Regressão Múltipla, Redes Neurais Artificiais, Máquinas de Vetor de Suporte, Árvores de Decisão e Random Forest. Também possui técnicas gráficas permitindo diversas formas de visualização, sendo altamente extensível.

R foi desenvolvida como uma derivação da linguagem estatística S e tem como modelo a programação orientada para objetos, permitindo que diversas características sejam acrescentadas através de pacotes (*packages*). Possuindo uma grande facilidade de importação de dados, o R reconhece diversos formatos (separados por vírgulas ou espaços) assim como um formato próprio.

O R é um projeto *open source* sob os termos da licença da Fundação do Software Livre GNU *General Public License* em forma de código fonte. Esta ferramenta corre em diversos sistemas entre eles, UNIX, Windows e MacOS. Este pode ser encontrado em <http://www.r-project.org/> (R-Project, 2012).

3. DESENVOLVIMENTO DO ÍNDICE INTEGRADO DE CONFORTO

3.1. Caracterização da amostra avaliada

A amostra de dados que foi alvo de estudo foi recolhida por Mateus (2009), no âmbito da sua Dissertação de Doutoramento, no período compreendido entre 12 de Dezembro de 2007 e 24 de Julho de 2008. Este estudo baseia-se em avaliações a diversos compartimentos pertencentes à Universidade do Minho, tanto no Campus de Gualtar como no Campus de Azurém onde se incluem bibliotecas, gabinetes dos mais diversos serviços como secretarias e também salas de aula. Também se incluíram neste estudo escritórios de algumas empresas pertencentes ao distrito de Braga. Das últimas destacam-se: FDO Construções; Soares & Grego; Pré-Ave, Leoni e Petrotec.

Na totalidade, foi possível obter avaliações objetivas em 64 compartimentos, o que permitiu avaliar o conforto percecionando por 344 ocupantes. A amostra de ocupantes tem uma gama de idades que varia desde os 18 aos 60 anos com uma média de idade de 28,1 anos, como se pode constatar na Figura 3.1. Destes 58% são do sexo masculino (Figura 3.2) e apresentam uma média de peso de 69,98 kg e uma média de altura de 1,71 metros.

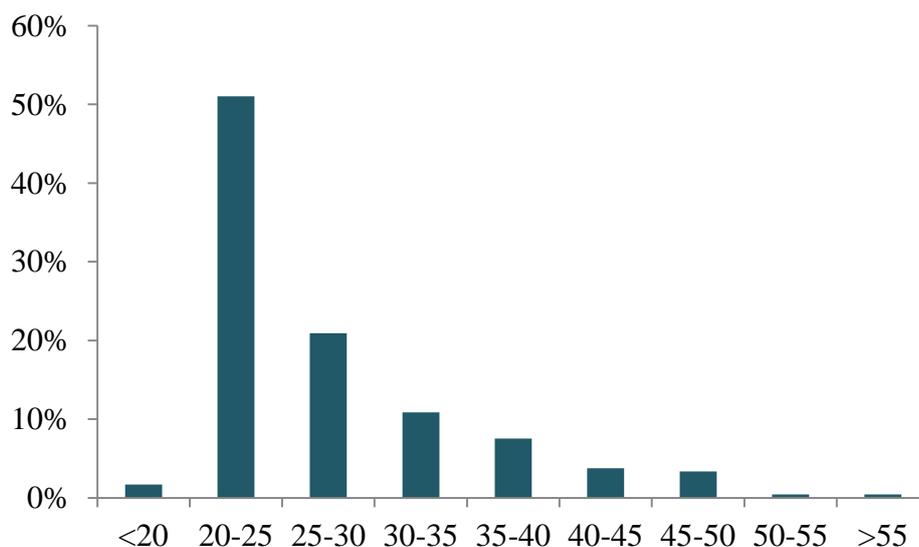


Figura 3.1 - Histograma de idades da amostra de ocupantes

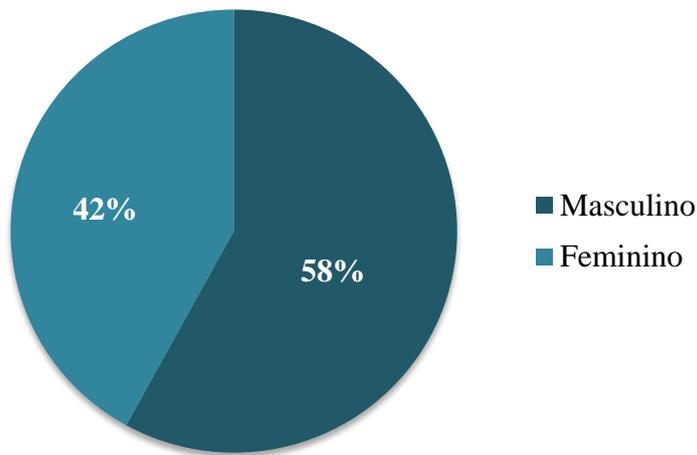


Figura 3.2 - Repartição da amostra por género

De referir que foi tido como critério um mínimo de 2 ocupantes para que o compartimento fosse alvo destas mesmas avaliações.

3.2. Metodologia aplicada

Como já foi mencionado, o principal objetivo deste trabalho passa pelo desenvolvimento de um índice que permita avaliar, o mais rigorosamente possível, o peso que cada um dos quatro indicadores - ambiente térmico, iluminação, ruído e qualidade do ar interior - da categoria de conforto da metodologia MARS-H apresenta no conforto global percecionado pelos ocupantes dos ambientes interiores dos edifícios.

Estes indicadores ambientais de conforto, que são características objetivas de um determinado espaço, têm de ser quantificados. Para além dos indicadores físicos (objetivos), também existem os indicadores subjetivos, sendo estes classificados consoante a perceção dos ocupantes relativamente à sensação de conforto do espaço, que varia de ocupante para ocupante, em relação a cada um dos indicadores assim como em relação ao ambiente global.

Com base nos dois tipos de indicadores recolhidos, segue-se o tratamento dos dados. Posteriormente, são avaliadas 5 técnicas de *data mining* de maneira a apurar qual a que melhor permite correlacionar os dados dos indicadores. Para tal, avaliou-se a correlação entre

a grandeza objetiva e subjetiva de cada indicador. De forma a avaliar a melhor técnica para o nível de desconforto global, avaliou-se a correlação entre as grandezas subjetivas dos indicadores e a grandeza subjetiva global. As cinco técnicas testadas foram: Regressão Linear/Múltipla (RM), Redes Neurais Artificiais (RNA), Máquinas de Vetores de Suporte (MVS), Árvores de Decisão (AD) e *Random Forest* (RF). Estes processos foram efetuados via ferramenta R e os critérios utilizados para a seleção da melhor técnica foram o coeficiente de determinação, o erro médio absoluto e a curva REC.

Com a técnica de *data mining* selecionada, para os quatro indicadores estudados, estabeleceram-se correlações entre a respetiva grandeza objetiva e subjetiva recorrendo à técnica de Regressão Linear. Na fase final, foi efetuada a correlação a nível global em função dos vários estímulos, recorrendo-se à técnica de Regressão Múltipla. Estes processos foram efetuados via a ferramenta estatística R.

De maneira resumida, apresenta-se o procedimento adotado:

- Tratamento dos dados recolhidos, de modo a eliminar dados que não parecessem fidedignos;
- Avaliação da técnica que estabelece melhor correlação para cada estímulo;
- Avaliação da técnica que estabelece melhor correlação para o conforto global percebido pelos ocupantes;
- Análise parcial por estímulo, de modo a verificar como a variação da grandeza física influencia a sensação de conforto dos ocupantes;
- Análise global, de maneira a verificar o modo como cada estímulo influencia o conforto global percebido pelos ocupantes.

3.2.1. Avaliações objetivas

Nesta secção serão apresentados os métodos usados por Mateus (2009) para a obtenção das grandezas físicas dos quatro parâmetros em estudo, assim como os equipamentos utilizados e as respetivas disposições nos compartimentos analisados. Os resultados das avaliações objetivas encontram-se em anexo (Anexo A1 – Tabela A.1.1).

3.2.1.1. Ambiente térmico

De maneira a caracterizar o ambiente térmico no interior de um edifício foi adotada a temperatura operativa como o índice que o melhor caracteriza. Para tal, o equipamento utilizado foi o modelo HD32.1 Thermal Microclimate da marca Delta Ohm, uma vez que este cumpre as normas EN ISO 7726:1985 e a EN ISO 7730:2005. Na Figura 3.3 encontra-se apresentado o equipamento utilizado na monitorização do ambiente térmico.



Figura 3.3 – Estação de conforto térmico (equipamento da marca Delta Ohm, modelo HD32.1 - Thermal Microclimate)

De modo a obter os respetivos valores da temperatura operativa, o equipamento foi colocado numa posição central dos compartimentos e os seus sensores a um metro de altura tal como está indicado na norma EN ISO 7730:2005. Esta situação tem como objetivo a realização de uma avaliação do conforto térmico para um indivíduo que se encontra sentado.

Para concluir, com o auxílio do software “DeltaLog 10” foi efetuada a leitura das medições efetuadas com o equipamento e ainda foram introduzidos os índices de Clo (resistência térmica da roupa) e Met (atividade metabólica) de maneira a se obter os índices PMV e PPD,

assim como a temperatura operativa. De referir que a resistência térmica da roupa foi calculada individualmente para cada ocupante em função das peças de roupa no momento da avaliação e a atividade metabólica foi definida como 1,2 Met.

3.2.1.2. Luminosidade

Para efetuar a caracterização das condições de iluminação foi medida a iluminância dos espaços. Para este processo foram usados três transmissores, modelo HD 2021T da marca Delta Ohm, e um Data Logger, modelo CR10X do fabricante Campbell Scientific. Na Figura 3.4 e Figura 3.5 encontra-se o equipamento utilizado na monitorização das condições de iluminação.

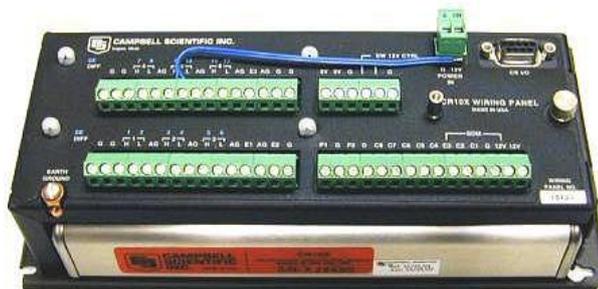


Figura 3.4 – Data Logger utilizado na monitorização da luminosidade (equipamento da marca Campbell Scientific, modelo CR10X)



Figura 3.5 – Sensor de iluminância utilizado na monitorização da luminosidade (equipamento da marca Delta Ohm, modelo HD 2021T)

Assim, como é referido na maioria das normas, as medições foram efetuadas num plano horizontal a uma altura de 0,85 metros do pavimento e com um período mínimo de medição nunca inferior a dez minutos, sendo que o intervalo entre medições foi de um minuto.

É de referir que os dados após serem recolhidos pelo Data Logger, foram exportados para uma folha de cálculo de Excel e que em cada ponto de medição foi considerada a média dos resultados obtidos.

3.2.1.3. Ruído

Com o objetivo de se efetuar a avaliação do ruído optou-se por efetuar a medição do nível sonoro contínuo equivalente, com filtro de ponderação A (L_{Aeq}). Para tal, o equipamento utilizado foi o sonómetro da série 500 da marca CEL. Na Figura 3.6 encontra-se representado o equipamento utilizado na monitorização do ruído.



Figura 3.6 - Sonómetro utilizado na monitorização do ambiente acústico (equipamento da marca CEL, série 500)

A metodologia de avaliação do desempenho acústico teve em conta as normas portuguesas NP 1730-1 e a NP 1730-2. De modo a obter o valor de L_{Aeq} , o equipamento foi colocado numa posição central dos compartimentos, a uma altura de 1,10 metros com um período

mínimo de medição nunca inferior a dez minutos, sendo que os valores da pressão sonora foram registados por bandas de oitava.

3.2.1.4. Qualidade do ar

De modo a avaliar a qualidade do ar interior, recorreu-se à medição da concentração de dióxido de carbono (CO₂) em partes por milhão (ppm), uma vez que se trata de um dos parâmetros mais utilizados para a avaliação da qualidade do ar interior quando a ocupação humana é a principal fonte de poluentes. Este parâmetro tem uma boa correlação com a taxa de renovação de ar e com a produtividade dos ocupantes. O CO₂ quando presente em dadas quantidades também poderá indicar a existência de outros poluentes em concentrações superiores às recomendadas, indicando a existência de uma taxa de renovação de ar inadequada.

Para fazer tal avaliação recorreu-se a um sensor da marca Telaire, modelo 7001. Este, além de registar o nível de concentração de CO₂, permite registar a temperatura do ar. Na Figura 3.7 encontra-se representado o equipamento utilizado na monitorização da qualidade do ar.



Figura 3.7 – Sensor de dióxido de carbono utilizado na monitorização da qualidade do ar (equipamento da marca Telaire, modelo 7001)

Neste processo, o equipamento utilizado foi colocado no centro dos compartimentos avaliados a uma altura de 1,10 metros e com um período mínimo de medição nunca inferior a dez minutos.

3.2.2. Avaliações subjetivas

Como já foi referido anteriormente, os dados que foram alvo de estudo neste trabalho foram recolhidos por Mateus (2009) e continham o propósito de se obter a opinião subjetiva dos ocupantes dos compartimentos avaliados. O inquérito desenvolvido e entregue aos ocupantes de modo a obter as suas opiniões subjetivas segue as recomendações apresentadas na norma EN 15251:2007.

O inquérito foi distribuído aos ocupantes no final do período das medições e era constituído por quatro partes principais. A primeira é constituída por uma breve descrição dos objetivos do inquérito e da respetiva estrutura. A segunda destina-se ao preenchimento de dados cronológicos da medição e de dados pessoais do respetivo ocupante como a sua idade, sexo, possíveis condicionantes ao estudo, etc. Na terceira parte é onde os ocupantes realizam a classificação da sensação de desconforto relativamente aos quatro indicadores avaliados. Por fim, na quarta parte obtém-se a classificação da sensação de desconforto global percecionada por cada ocupante.

A classificação do ambiente pelos seus ocupantes foi executada com a colocação de uma cruz numa escala graduada, como exemplificado na Figura 3.8. Nesta escala, o extremo esquerdo corresponde a uma situação de conforto e o extremo direito a uma situação de desconforto. A escala é constituída por quatro zonas de desconforto, sendo o neutro a situação confortável, como esta representado na Figura 3.8.

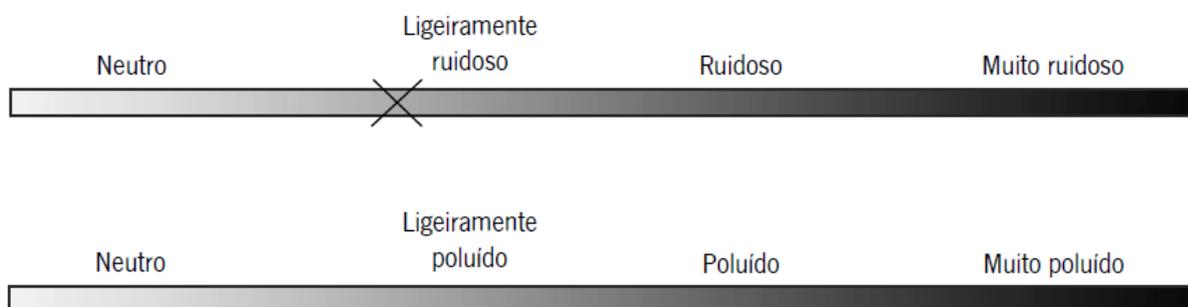


Figura 3.8 - Escalas graduadas apresentadas no inquérito para a avaliação do desconforto acústico e da qualidade do ar (Mateus, 2009)

As escalas utilizadas para avaliação do desconforto térmico e luminoso apresentam um aspeto ligeiramente diferente uma vez que estas permitem classificar se o conforto advém de uma sensação de frio ou calor, no caso do desconforto térmico e se advém de uma sensação de falta ou excesso de luminosidade, no caso do conforto lumínico. As referidas escalas encontram-se representadas nas Figura 3.9 e Figura 3.10.

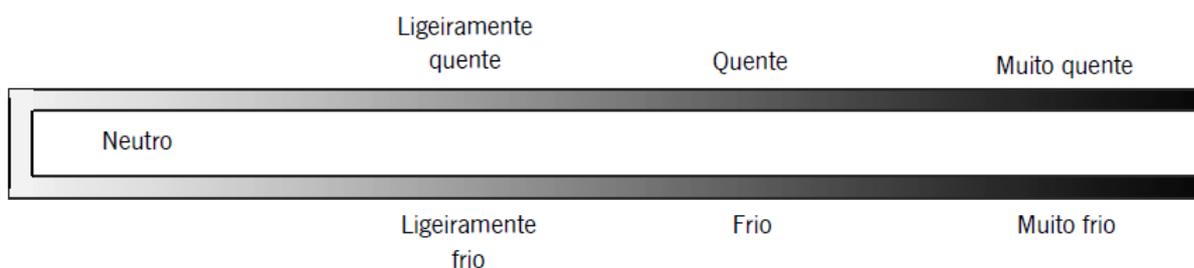


Figura 3.9 - Escala graduada apresentada no inquérito para a avaliação do desconforto térmico (Mateus, 2009)

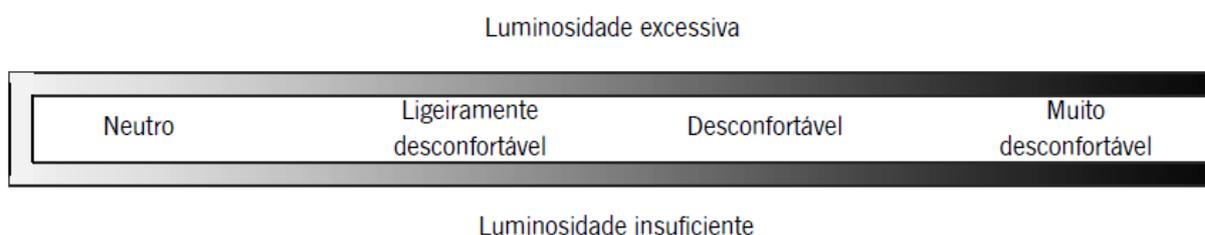


Figura 3.10 - Escala graduada apresentada no inquérito para a avaliação do desconforto lumínico (Mateus, 2009)

No final os ocupantes classificaram o seu nível de desconforto global numa escala graduada representada na Figura 3.11.



Figura 3.11 - Escala graduada apresentada no inquérito para avaliação do desconforto global (Mateus, 2009)

Por fim, os dados obtidos dos ocupantes foram convertidos numa escala quantitativa de desconforto de 0 - 100%. Os resultados das avaliações subjetivas encontram-se em anexo (Anexo A1 – Tabela A.1.1 e Tabela A.1.2).

3.2.3. Tratamento dos dados obtidos

O tratamento dos dados recolhidos para uma análise por parâmetro foi realizado em quatro fases. Na primeira fase realizou-se uma análise dos inquéritos realizados de maneira a excluir aqueles se encontravam incompletos, os que apresentavam erros no seu preenchimento ou que tinham sido respondidos por pessoas que possuíam alguma condicionante física ou psicológica que poderia influenciar o nível de conforto percecionado. Com este critério das 344 avaliações recolhidas, foram validadas 229 para o ambiente térmico, 226 para o ambiente lumínico, 225 para o ambiente acústico e 254 para o conforto relativamente à qualidade do ar interior.

Na segunda fase, recorreu-se a um tratamento estatístico das avaliações validadas na fase anterior onde se excluíram os dados que se desviavam em demasia dos valores médios obtidos. Isto é, foram excluídos as avaliações, relativamente a cada parâmetro, que se afastavam da média (μ) duas vezes o valor do desvio padrão (σ) em relação à média dos dados do respetivo compartimento, tanto para a avaliação objetiva como para a subjetiva. Este critério baseia-se no facto de 95,5% dos dados se encontrarem entre a média e duas vezes o seu desvio padrão, segundo a distribuição normal ou Gaussiana como se pode constatar na Figura 3.12 (DMUA, 2012).

Após este tratamento, das avaliações validadas pelo critério, passou-se a contar com 227 para o ambiente térmico, 222 para o ambiente lumínico, 222 para o ambiente acústico e 252 para o conforto relativamente à qualidade do ar interior.

Na terceira fase, o tratamento resumiu-se à obtenção dos valores medianos para ambos os tipos de medições em cada compartimento avaliado individualmente.

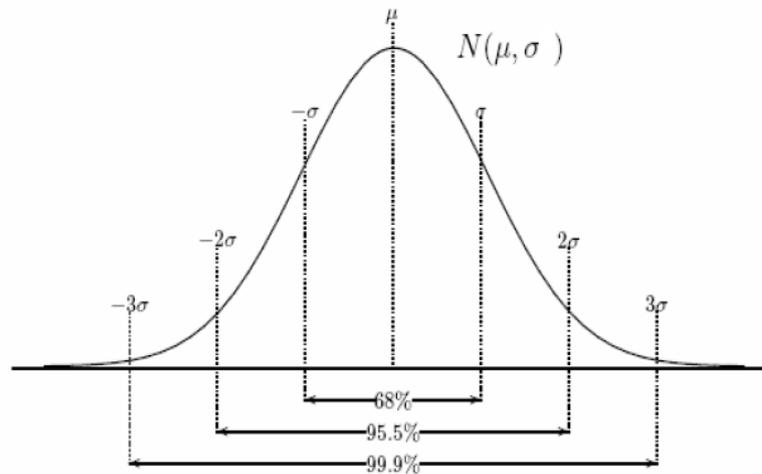


Figura 3.12 - Distribuição Normal ou Gaussiana (adaptado de DMUA, 2012)

Por fim, o tratamento foi concluído, numa quarta fase, após ser efetuada uma primeira modelação dos dados onde se obteve uma equação que correlacionava os dados físicos com o nível de desconforto (%). Efetuou-se uma eliminação dos compartimentos cujo valor previsto na modelação para o nível de desconforto tinha um afastamento superior a 25% do valor registado na realidade. Esta percentagem foi a considerada como aceitável para obter uma melhor correlação entre as duas variáveis e assim eliminar os compartimentos que se afastavam demasiado da previsão. Consequentemente foi obtida uma nova equação que se revelava a mais aproximada relação entre a avaliação objetiva e a avaliação subjetiva.

No que diz respeito ao tratamento realizado para a análise global, esta foi realizada em três fases. Numa primeira fase começou-se por apenas considerar os inquéritos validados na segunda fase de tratamento nos respetivos parâmetros. Ou seja, para estes serem validados tinham de ser considerados válidos na segunda fase de tratamento por parâmetro para se poder comparar com o nível de desconforto global. Com a aplicação desta condição foram validados 135 inquéritos.

Numa segunda fase, o critério passou por considerar válidos apenas os inquéritos que respeitassem a regra de que o nível de desconforto global nunca poderia ser maior nem menor que o máximo e mínimo, respetivamente, do nível de desconforto nos parâmetros do respetivo inquérito. Após esta segunda fase, foram considerados válidos 115 inquéritos.

Para concluir, na terceira fase voltou-se a obter os valores medianos para cada compartimento apenas usando os inquéritos validados nas fases anteriormente mencionadas, sendo que para obter a validação aplicou-se novamente a regra de que o nível de desconforto global por compartimento não poderia ser maior nem menor que o máximo e mínimo, respetivamente, do nível de desconforto dos parâmetros do respetivo compartimento. A análise global foi efetuada com 40 compartimentos validados.

3.3. Apresentação e análise dos resultados obtidos

No subcapítulo que se segue serão apresentados os resultados obtidos com a aplicação da técnica experimental com melhores resultados e posteriormente efetuada uma análise aos mesmos. Estes têm em conta as avaliações objetivas recolhidas nos compartimentos avaliados e as avaliações subjetivas obtidas através de inquéritos respondidos pelos respetivos ocupantes.

A primeira fase consiste numa análise individual para cada parâmetro onde este foi analisado por uma correlação entre as respetivas grandezas objetivas e subjetivas. Na segunda fase, é efetuada a modelação a nível global, em função dos vários estímulos, através das grandezas subjetivas para concluir o peso de cada um dos indicadores no nível de desconforto global.

3.3.1. Resultados obtidos para o conforto térmico

Na Tabela 3.1 constam, a título de exemplo, os resultados obtidos em 3 dos 40 compartimentos validados. Nesta encontram-se as medições objetivas e subjetivas efetuadas nos 3 compartimentos assim como os dados finais utilizados para caracterização do ambiente térmico e da modelação da resposta humana após o tratamento de dados efetuado. Na Tabela 3.1 estão representados: a temperatura operativa (TO) e o nível de desconforto de cada inquirido ($ND TO$) assim como as medianas de cada um dos últimos no respetivo compartimento ($TO med$ e $ND TO med$). De maneira a calcularem-se os índices referidos utilizou-se o software do equipamento usado nas medições físicas, onde se considerou a média do índice de isolamento da roupa dos ocupantes, assim como considerou um metabolismo médio de 1,2 Met, que segundo a EN 15251:2007 representa uma atividade sedentária em habitações, escritórios e também em salas de aulas.

Tabela 3.1 - Resultados obtidos nas medições objetivas e subjetivas necessárias para a caracterização do conforto térmico e modelação da resposta humana para 3 compartimentos

Compartimento	TO (°C)	ND TO (%)	TO med (°C)	ND TO med (%)
UM 1	21,06	52%	21,48	38%
	22,34	16%		
	22,84	53%		
	21,48	-36%		
	21,48	-38%		
	20,27	46%		
	19,06	-16%		
UM 13	22,37	36%	23,37	63%
	25,15	64%		
	23,37	63%		
UM 17	24,61	36%	24,61	38%
	28,76	39%		
	23,83	27%		
	23,26	47%		
	27,76	38%		

Dos inquéritos validados para este parâmetro, a temperatura mínima é de 15,37°C enquanto a máxima é de 28,76°C. Assim, é possível concluir que é abrangida uma gama de temperaturas suficiente para avaliar o ambiente interior que se verifica durante o ano nos edifícios da região.

Este intervalo de valores deve-se ao facto de as avaliações terem sido efetuadas em edifícios relativamente recentes e na sua maioria terem sistemas de climatização. Isto acabou-se por traduzir numa gama de temperaturas compreendida entre os 15 e 29°C, temperaturas que não provocam níveis de desconforto extremos.

Através da ferramenta R e da mediana da temperatura operativa (*TO med*) e da mediana do nível de desconforto relativamente à temperatura operativa (*ND TO med*) de todos os compartimentos validados foi efetuada uma análise para verificar qual das cinco técnicas de *data mining* oferecia melhores resultados. Para isso recorreu-se ao coeficiente de determinação (R^2), ao erro médio absoluto (EMA) e à curva REC como critérios de avaliação. Para estimar a capacidade de generalização dos modelos de regressão foi usado um procedimento *50-fold cross validation*. Uma vez que os resultados podem variar consoante a divisão aleatória utilizada para definir os 50 subconjuntos, foram também aplicadas 20 execuções a cada um dos procedimentos *50-fold*, gerando um total de 1000 experiências para a configuração de teste. Os resultados constam na Tabela 3.2, onde os melhores valores se encontram a negrito.

Tabela 3.2 - Valores de R^2 e EMA (em %) para a previsão do conjunto de dados para o nível de desconforto da temperatura operativa

Técnica	R^2		EMA	
RL	0,197	± 0,003	13,213	± 0,030
MVS	0,055	± 0,027	14,444	± 0,166
RNA	0,112	± 0,042	13,887	± 0,207
AD	0,124	± 0,011	13,050	± 0,094
RF	0,004	± 0,008	14,617	± 0,090

Relativamente aos resultados do coeficiente de determinação (R^2), os melhores valores são os que mais tendem para 1, enquanto para os resultados do valor do erro médio absoluto (EMA), é o inverso, ou seja, os melhores valores são os que mais tendem para 0.

Como se pode verificar, em ambos os critérios, a técnica que melhores resultados oferece é a Regressão Linear pela que foi a técnica utilizada para concluir a modelação do nível de desconforto térmico. Na Figura 3.13, apresenta-se o gráfico REC, onde se pode verificar o superior desempenho da Regressão Linear em relação às restantes técnicas testadas.

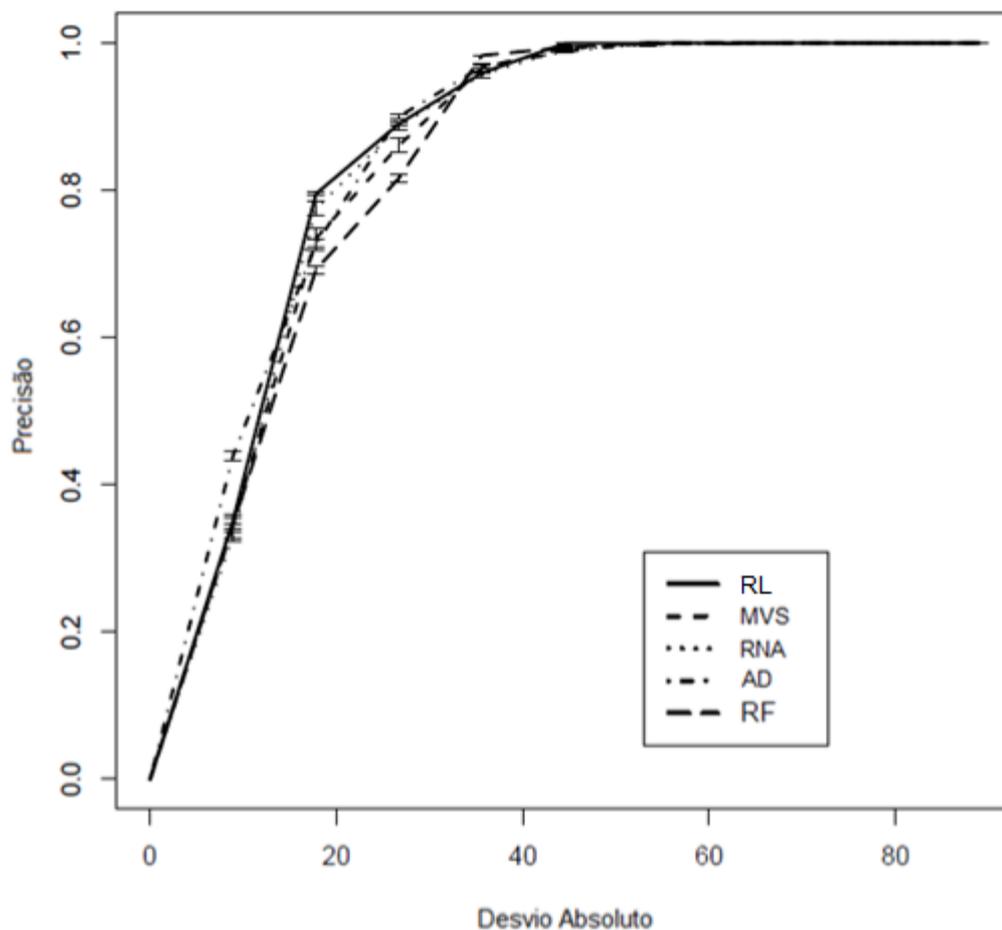


Figura 3.13 - Curva REC para o nível de desconforto da temperatura operativa

Concluído que a melhor técnica para esta amostra de dados é a Regressão Linear, com a mediana da temperatura operativa (TO) e a mediana do nível de desconforto ($ND TO$) de todos os compartimentos validados foi possível estabelecer uma correlação entre estas duas variáveis. O resultado após o tratamento de dados total é o que se encontra apresentado graficamente e através da função de aproximação na Figura 3.14.

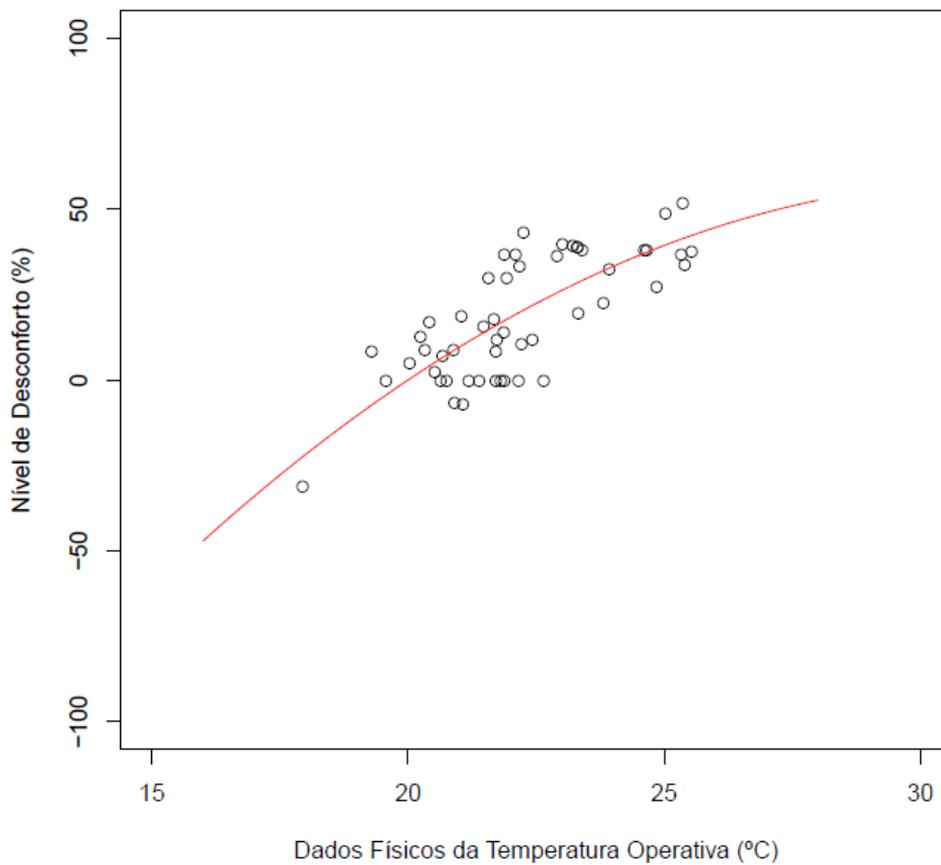


Figura 3.14 - Relação entre a temperatura operativa (°C) e o nível de desconforto (%)

Após uma análise do mesmo, é possível concluir que o intervalo de temperaturas que minimiza o nível de desconforto do ser humano é dos 18°C aos 22°C. Dentro deste intervalo, os valores são considerados aceitáveis uma vez que se encontram entre -20% e 20% de nível de desconforto. Isto conclui-se observando a linha de tendência calculada e que se encontra apresentada na Equação 3.1:

$$ND_{TO} = -0,432882 \cdot TO^2 + 27,33655 \cdot TO - 373,6912 \quad (3.1)$$

onde ND_{TO} é o nível de desconforto relativo à temperatura operativa e TO é a temperatura operativa registada. Como referido anteriormente, esta foi obtida através da Regressão Linear e possui um coeficiente de determinação $R^2 = 0,5848$.

De maneira a tornar mais explícita a visualização desta amostra de dados, converteu-se a nível de desconforto relativo à temperatura operativa (ND_{TO}) para uma escala unipolar de 0-100% e conseqüentemente efetuou-se o tratamento aplicado à amostra anterior. O resultado é o que se encontra apresentado graficamente na Figura 3.15:

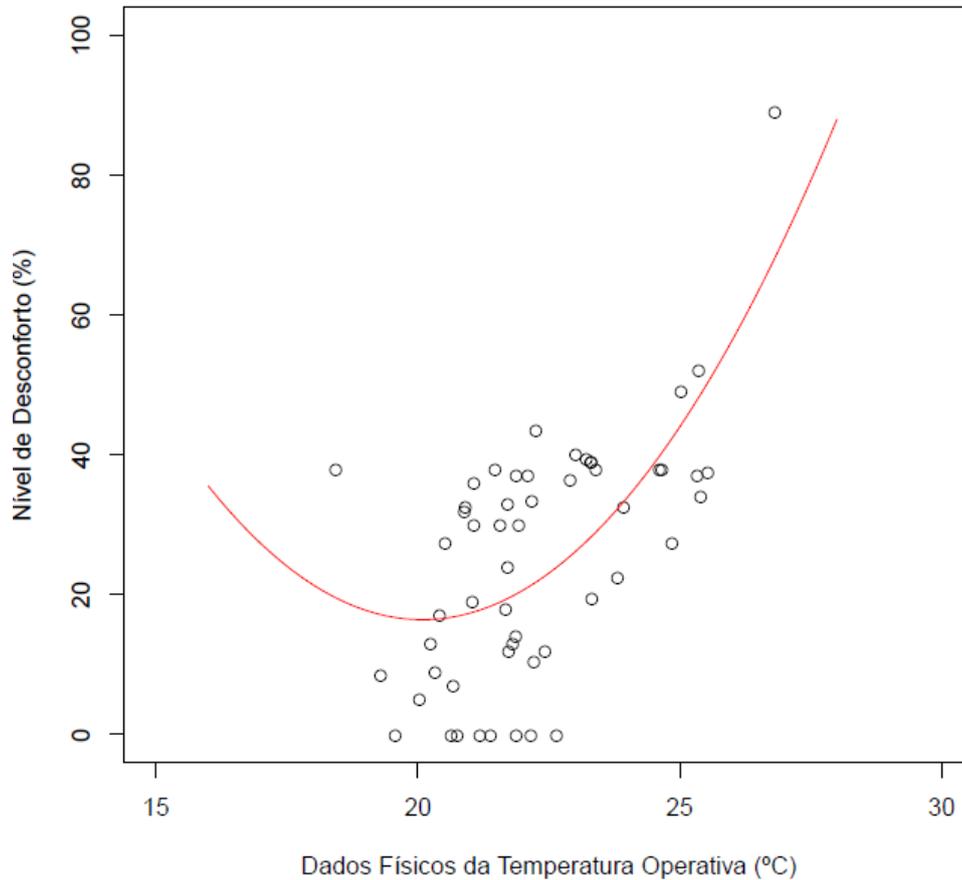


Figura 3.15 - Relação entre a temperatura operativa (°C) e o nível de desconforto (%)

Observando o gráfico da Figura 3.15, é possível concluir que o intervalo de temperaturas que minimiza o nível de desconforto do ser humano é dos 18°C aos 22°C. Dentro deste intervalo, os valores são considerados aceitáveis uma vez que se encontram entre 16% e 22% de nível de desconforto. Isto conclui-se observando a linha de tendência calculada e que se encontra apresentada na Equação 3.2:

$$ND_{TO} = 1,143399 \cdot TO^2 - 45,9397 \cdot TO + 477,8789 \quad (3.2)$$

onde ND_{TO} é o nível de desconforto relativo à temperatura operativa e TO é a temperatura operativa registada. Esta curva também foi obtida através da ferramenta R, utilizando a Regressão Linear e possui um coeficiente de determinação $R^2 = 0,4302$.

Comparando ambos os resultados é possível concluir que não há praticamente variação no intervalo de temperatura operativa relativamente ao nível de desconforto aos utilizadores. Apenas na primeira análise, onde o nível de desconforto é analisado de -100 a 100%, há um coeficiente de determinação maior. Isto deve-se ao facto da recolha da amostra de dados se ter efetuado com esta mesma escala o que se traduziu numa melhor correlação. No entanto, na análise global foi aplicada a segunda análise uma vez que se trata de uma simplificação da primeira e não adultera os resultados para atingir os objetivos pretendidos.

No que diz respeito à temperatura operativa foi efetuada uma última análise, uma comparação com a escala de conforto desenvolvida por Fanger (1972) que se encontra na EN ISO 7730:2005 onde este correlaciona o índice PMV (*Predicted Mean Vote*) com o índice PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*). Através dos inquéritos validados, recolhidos por Mateus (2009), calculou-se o nível de desconforto previsto pelos ocupantes através da Equação 3.1, convertendo-se de seguida para a escala de conforto térmico desenvolvida por Gagge *et al.* (1941) como se exemplifica na Tabela 3.3. A partir desta foi possível estabelecer uma correlação entre o PMV e o nível de desconforto previsto através da Regressão Linear. O resultado é apresentado no gráfico da Figura 3.16.

Tabela 3.3 - Relação da conversão para PMV

PMV	ND (%)
+ 2,0	+ 66,66
+ 1,0	33,33 a 66,66
+ 0,5	16,66 a 33,33
0,0	16,66 a -16,66
-0,5	- 16,66 a - 33,33
-1,0	- 33,33 a - 66,66
-2,0	- 66,66

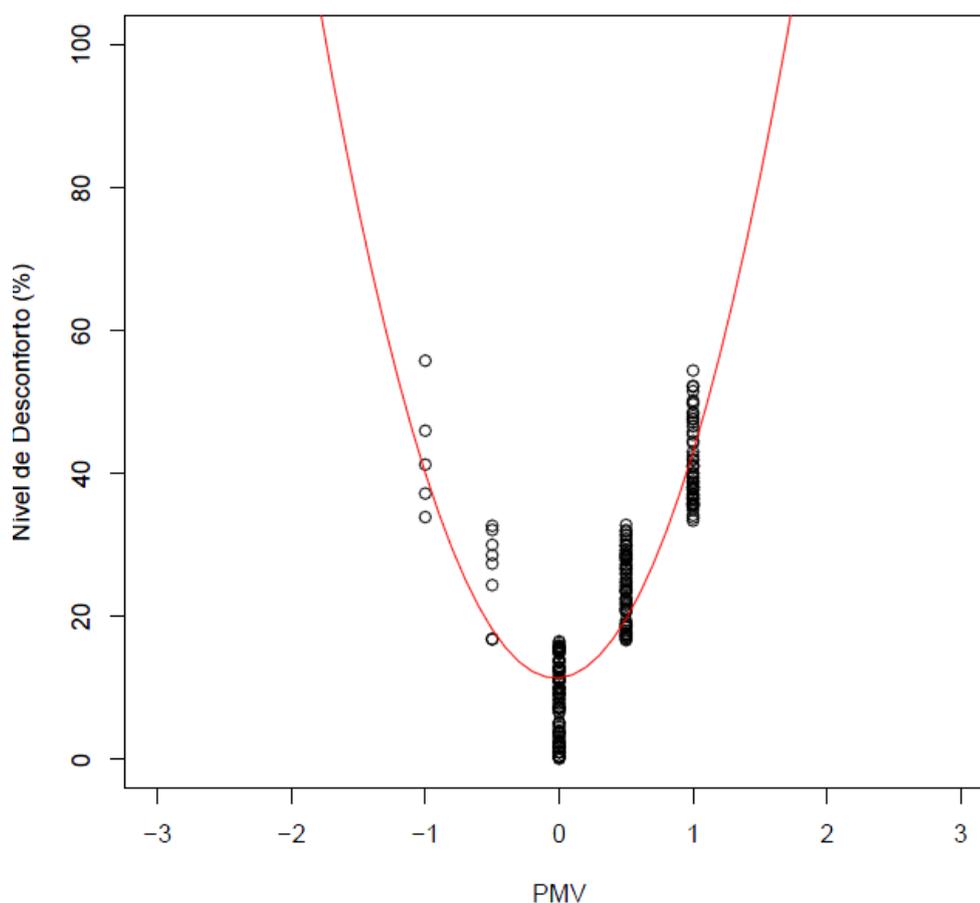


Figura 3.16 - Relação entre os índices PMV e nível de desconforto previsto

Comparativamente com o gráfico apresentado por Fanger (1972), que se encontra na Figura 2.2, a gama de valores testada está idêntica apesar de o nível de desconforto mínimo encontrar-se por volta dos 10%, o que leva a concluir que não é possível obter um ambiente que satisfaça a 100% dos seus ocupantes. Quanto à restante gama de valores de PMV, de -3 a -1 e de 1 a 3, o gráfico apresentado é ligeiramente diferente uma vez que não apresenta uma forma gaussiana. Da amostra de dados analisada apenas se pode concluir que, esta se encontra dentro dos limites considerados de satisfação, uma vez que se encontram entre os valores -1 e 1 do PMV. No entanto, não é possível tirar qualquer conclusão relativamente à restante gama de valores uma vez que esta parte da função foi definida através da gama de valores de PMV compreendida entre -1 e 1.

3.3.2. Resultados obtidos para o conforto lumínico

Na Tabela 3.4 constam os resultados obtidos para 3 dos 40 compartimentos validados. Nela encontram-se as medições objetivas e subjetivas efetuadas nos 3 compartimentos bem como os dados finais utilizados para caracterização da luminosidade e da modelação da resposta humana após o tratamento de dados efetuado. Nesta tabela estão representados: a iluminância (E) e o nível de desconforto de cada inquirido ($ND E$) assim como as medianas de cada um dos últimos no respetivo compartimento ($E med$ e $ND E med$).

Dos inquéritos validados para este parâmetro, a iluminância mínima é de 131 lx e a máxima é de 1220,75 lx. Desta maneira pode-se concluir que é abrangida uma gama considerável de iluminâncias, que será suficiente para cobrir as condições normais de iluminação de edifícios, uma vez que não são tidas em conta tarefas visuais que exijam grande exatidão visual como por exemplo, o fabrico de relógios. Para casos como o mencionado é necessário recorrer a iluminação adicional.

Recorrendo novamente à mediana da iluminância resultante ($E med$) e à mediana do nível de desconforto relativamente à iluminância resultante ($ND E med$) de todos os compartimentos validados foi efetuada uma análise para verificar qual das cinco técnicas de *data mining* oferecia melhores resultados. Para isso recorreu-se ao princípio adotado no parâmetro anterior, usando o coeficiente de determinação (R^2), o erro médio absoluto (EMA) e a curva REC como critérios de avaliação. Os resultados constam na Tabela 3.5, onde os melhores valores se encontram a negrito.

Como se pode verificar, em ambos os critérios, a técnica que melhores resultados oferece é a Regressão Linear pela que foi a técnica utilizada para concluir a modelação do nível de desconforto lumínico. Na Figura 3.17 consta o gráfico REC, onde se pode verificar o superior desempenho da Regressão Linear em relação às restantes técnicas testadas.

Tabela 3.4 - Resultados obtidos nas medições objetivas e subjetivas necessárias para a caracterização do conforto lumínico e modelação da resposta humana para 3 compartimentos

Compartimento	E (Lx)	ND E (%)	E med	ND E med (%)
UM 1	234,00	-20%	234,00	48%
	234,00	-39%		
	155,00	-75%		
	234,00	-62%		
	234,00	-48%		
UM 13	376,60	12%	376,60	12%
	533,80	00%		
	376,60	19%		
	372,95	-12%		
UM 17	378,28	38%	687,20	00%
	767,48	00%		
	687,20	28,%		
	687,20	00%		
	687,20	00%		

Tabela 3.5 - Valores de R^2 e EMA (em %) para a previsão do conjunto de dados para o nível de desconforto lumínico

Técnica	R^2		EMA	
RM	0,183	± 0, 019	13,224	± 0,049
MVS	0,172	± 0,015	13,343	± 0,113
RNA	0,122	± 0,042	14,214	± 0,244
AD	0,112	± 0,070	14,232	± 0,110
RF	0,060	± 0,007	15,057	± 0,115

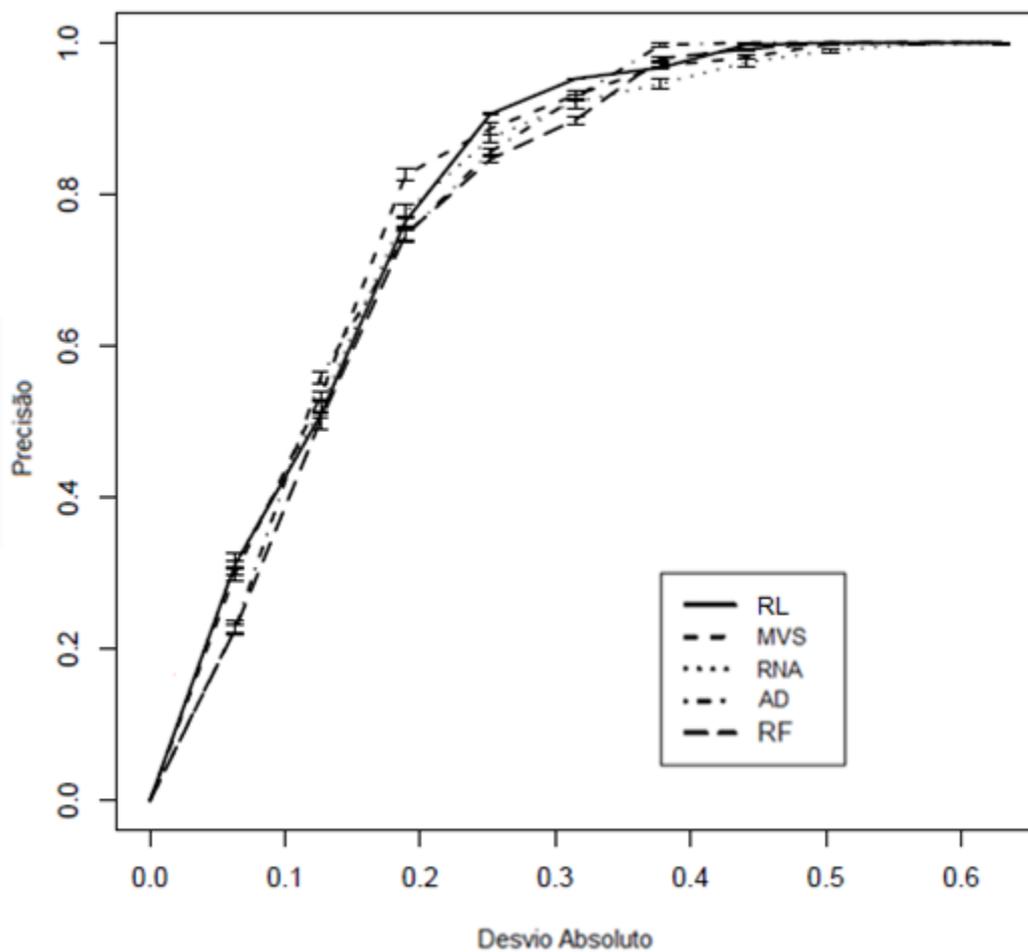


Figura 3.17 - Curva REC para o nível de desconforto lumínico

Concluído que a melhor técnica para esta amostra de dados é a Regressão Linear, estabeleceu-se uma correlação entre estas duas variáveis obtendo assim o gráfico e a função de aproximação que se encontram na Figura 3.18.

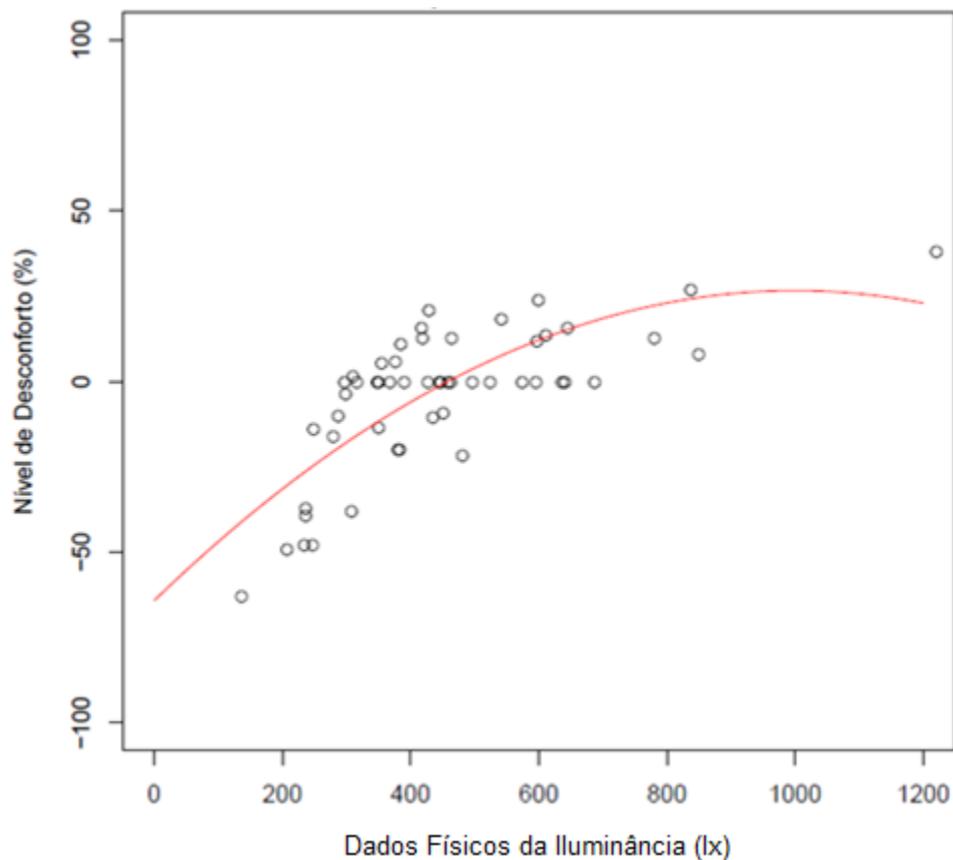


Figura 3.18 - Relação entre a iluminância (lx) e o nível de desconforto (%)

Efetuada uma análise ao gráfico, é possível concluir que o intervalo de iluminâncias que minimiza o nível de desconforto do ser humano é dos 500 lx aos 900 lx. Dentro deste intervalo, o nível de desconforto lumínico varia entre 6 e 12%, os valores mais aceitáveis. Isto conclui-se observando a linha de tendência calculada e que se encontra apresentada na Equação 3.3:

$$ND_{IL} = -9,08e^{-05} \cdot E^2 + 0,1815977 \cdot E - 64,08622 \quad (3.3)$$

onde ND_{IL} é o nível de desconforto relativo à luminosidade e E é a iluminância registada. Esta foi obtida através da ferramenta R e possui um coeficiente de determinação $R^2 = 0,5654$.

De maneira a tornar mais explícita a visualização desta amostra de dados, converteu-se a nível de desconforto lumínico (ND_E) para uma escala de 0-100% e conseqüentemente efetuou-se o tratamento aplicado à amostra anterior. O resultado é o que se encontra apresentado graficamente na Figura 3.19:

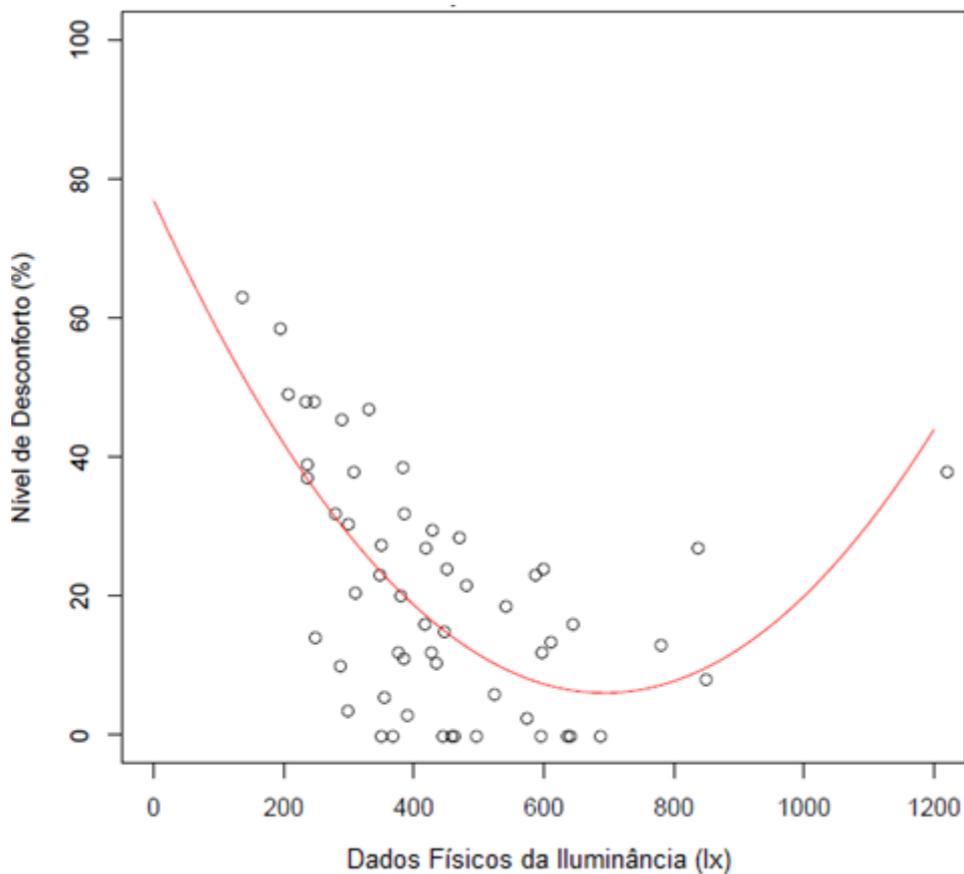


Figura 3.19 - Relação entre a iluminância (lx) e o nível de desconforto (%)

Efetuada uma análise ao gráfico é possível concluir que o intervalo de iluminâncias que minimiza o nível de desconforto do ser humano é dos 500 lx aos 900 lx. Dentro deste intervalo, o nível de desconforto lumínico varia entre 6 e 12%. Isto conclui-se observando a linha de tendência calculada e que se encontra apresentada na Equação 3.4:

$$ND_{IL} = 0,0001473.E^2 - 0,2042492.E + 76,8656 \quad (3.4)$$

onde ND_{IL} é o nível de desconforto relativo à luminosidade e E é a iluminância registada. Esta foi obtida através da ferramenta R e possui um coeficiente de determinação $R^2 = 0,4715$.

3.3.3. Resultados obtidos para o conforto acústico

Na

Tabela 3.6 são apresentados os resultados obtidos numa amostra de 3 dos 40 compartimentos validados. Na Tabela 3.6 encontram-se as medições objetivas e subjetivas efetuadas para o conforto acústico nos 3 compartimentos assim como os dados finais utilizados para caracterização da acústica e da modelação da resposta humana após o tratamento de dados efetuado. Na tabela encontram-se: o nível sonoro contínuo equivalente ponderado A no centro do compartimento (L_{Aeq}) e o nível de desconforto de cada inquirido ($ND L_{Aeq}$) assim como a mediana do nível de desconforto dos inquiridos no respetivo compartimento ($ND L_{Aeq med}$).

De todos os inquéritos validados para este parâmetro, o nível sonoro mínimo é de 45,50 dB(A) enquanto o máximo é de 67,70 dB (A). Desta maneira pode-se concluir que toda a amostra de avaliações objetivas recolhidas se encontram acima dos valores recomendados pela norma EN 15251:2007, uma vez que esta considera que os valores recomendados para salas de aula e escritórios se devem situar no intervalo entre 30 e 45 dB(A). Assim sendo, também é possível afirmar que em nenhum dos compartimentos avaliados existe conforto acústico segundo a norma EN 15251:2007.

Calculando a mediana do nível sonoro contínuo equivalente ponderado em frequência pela curva A ($L_{Aeq med}$) e a mediana do nível de desconforto relativamente ao mesmo ($ND L_{Aeq med}$) de todos os compartimentos validados, foi efetuada uma análise para verificar qual das cinco técnicas de *data mining* oferecia melhores resultados. Para isso recorreu-se ao princípio adotado no parâmetro anterior, usando o coeficiente de determinação (R^2), o erro médio absoluto (EMA) e a curva REC como critérios de avaliação. Os resultados constam na Tabela 3.7, onde os melhores valores se encontram a negrito.

Tabela 3.6 - Resultados obtidos nas medições objetivas e subjetivas necessárias para a caracterização do conforto acústico e modelação da resposta humana para 3 compartimentos

Compartimento	L_{Aeq} (dB(A))	ND L_{Aeq} (%)	ND L_{Aeq} med (%)
UM 1	63,80	39%	
	63,80	39%	
	63,80	38%	39%
	63,80	38%	
	63,80	39%	
UM 13	61,60	64%	
	61,60	44%	
	61,60	62%	62%
	61,60	62%	
UM 17	60,20	38%	
	60,20	56%	
	60,20	11%	
	60,20	23%	
	60,20	30%	28%
	60,20	12%	
	60,20	25%	
	60,20	39%	

Tabela 3.7 - Valores de R^2 e EMA (em %) para a previsão do conjunto de dados para o nível de desconforto do ruído

Técnica	R^2		EMA	
RM	0,325	± 0,001	7,929	± 0,010
MVS	0,208	± 0,022	8,661	± 0,138
RNA	0,273	± 0,011	8,253	± 0,063
AD	0,248	± 0,009	10,050	± 0,046
RF	-0,025	± 0,010	11,973	± 0,052

Como se pode verificar, em ambos os critérios, a técnica que melhores resultados oferece é a Regressão Linear pela que foi a técnica utilizada para concluir a modelação do índice integrado. Também na Figura 3.20, consta o gráfico REC, onde se pode verificar o superior desempenho da Regressão Linear em relação às restantes técnicas testadas.

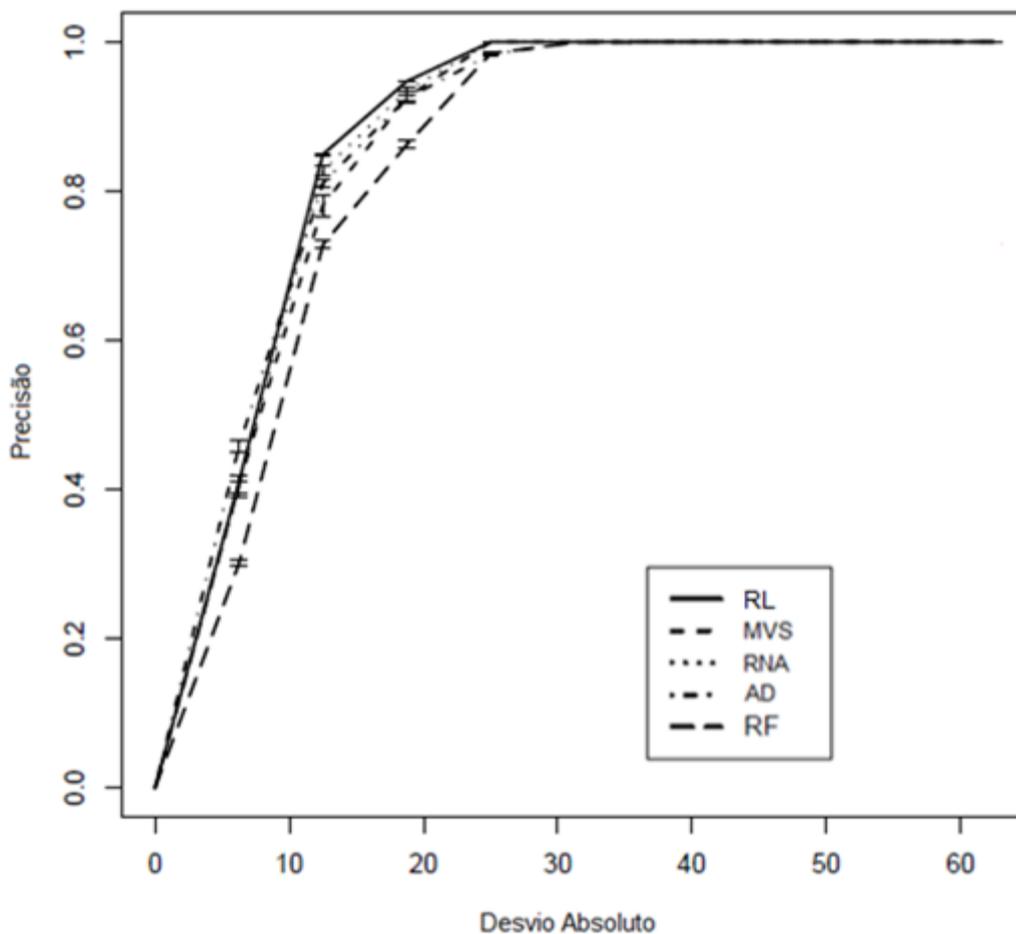


Figura 3.20 - Curva REC para o nível de desconforto do ruído

Concluído que a melhor técnica para esta amostra de dados é a Regressão Linear, foi estabelecida uma correlação entre estas duas variáveis, resultando assim no gráfico e na função de aproximação que se encontram na Figura 3.21.

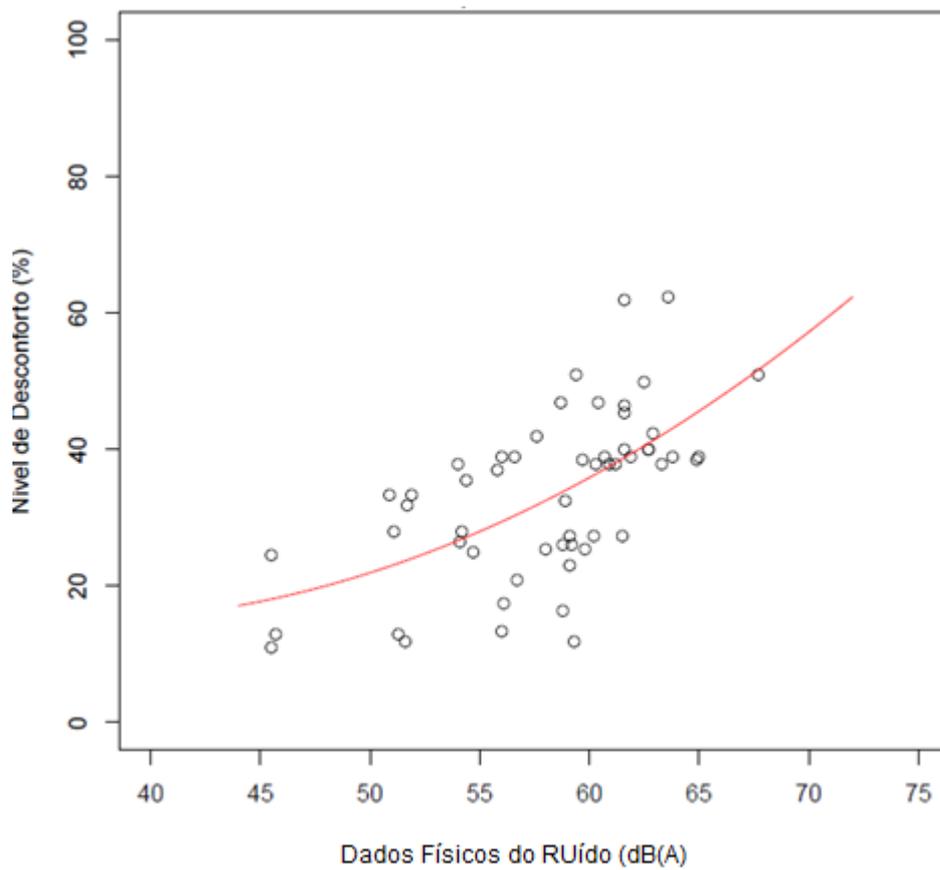


Figura 3.21 - Relação entre o ruído (dB(A)) e o nível de desconforto (%)

Analisando o gráfico, é possível concluir que nos compartimentos avaliados existem valores físicos que provocam desconforto segundo a norma EN 15251:2007, norma esta que considera valores compreendidos entre 30 e 45 dB(A) como valores recomendados para salas de aula e escritórios. Dos compartimentos validados, apenas 3 se encontram perto do limite máximo recomendado por esta. Mesmo assim, foi modelada a resposta humana através de uma linha de tendência calculada e que se encontra apresentada na Equação 3.5:

$$ND_{RU} = 0,0368927 \cdot dB(A)^2 - 2,663989 \cdot dB(A) + 62,92481 \quad (3.5)$$

onde ND_{RU} é o nível de desconforto relativo ao ruído e $dB(A)$ é o ruído registado. Esta foi obtida através da ferramenta R, utilizando a Regressão Linear e possui um coeficiente de determinação $R^2 = 0,3736$.

3.3.4. Resultados obtidos para a resposta humana em relação à qualidade do ar

Na Tabela 3.8 encontram-se, a título de exemplo, os resultados obtidos de uma amostra de 3 dos 40 compartimentos validados. Esta contém as medições objetivas e subjetivas efetuadas nos 3 compartimentos assim como os dados finais utilizados para caracterização da qualidade do ar e da modelação da resposta humana após o tratamento de dados efetuado. Na tabela encontram-se representados: a quantidade de dióxido de carbono (CO_2) em partes por milhão e o nível de desconforto de cada inquirido ($ND\ CO_2$) assim como a mediana do nível de desconforto dos inquiridos no respetivo compartimento ($ND\ CO_2\ med$).

De todos os compartimentos validados para este parâmetro, a concentração de CO_2 mínima é de 671,31 ppm enquanto a máxima é de 2973 ppm. Segundo o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização dos Edifícios (RSECE), o valor máximo legal é de 1800 mg/m^3 o que corresponde a 1000 ppm. Desta maneira pode-se concluir que há compartimentos que ultrapassam em muito os valores legalmente impostos, demonstrando assim as fracas condições de renovação de ar interior que alguns dos edifícios analisados possuem.

Recorrendo ao mesmo processo utilizado para os restantes parâmetros, através do valor registado de concentração de CO_2 no compartimento e da mediana do nível de desconforto relativamente à qualidade do ar ($ND\ CO_2\ med$) de todos os compartimentos validados foi efetuada uma análise para verificar qual das cinco técnicas de *data mining* oferecia melhores resultados. Os resultados constam na Tabela 3.9, onde os melhores valores se encontram a negrito.

Tabela 3.8 - Resultados obtidos nas medições objetivas e subjetivas necessárias para a caracterização da qualidade do ar interior e modelação da resposta humana para 3 compartimentos

Compartimento	CO ₂ (ppm)	ND CO ₂ (%)	ND CO ₂ med (%)
UM 1	883,00	37%	
	883,00	9%	
	883,00	13%	
	883,00	13%	24%
	883,00	38%	
	883,00	24%	
	883,00	28%	
UM 13	1760,00	40%	
	1760,00	25%	24%
	1760,00	23%	
	1760,00	12%	
UM 17	1355,00	62%	
	1355,00	57%	
	1355,00	23%	
	1355,00	54%	51%
	1355,00	47%	
	1355,00	43%	
	1355,00	61%	
1355,00	11%		

Tabela 3.9 - Valores de R² e EMA (em %) para a previsão do conjunto de dados para o nível de desconforto relativo à qualidade do ar interior

Técnica	R ²		EMA	
RM	0,323	± 0,007	11,097	± 0,051
MVS	0,210	± 0,021	11,329	± 0,148
RNA	0,312	± 0,011	11,187	± 0,078
AD	0,219	± 0,011	11,896	± 0,108
RF	0,018	± 0,008	12,258	± 0,077

Como se pode verificar, em ambos os critérios, a técnica que melhores resultados oferece é a Regressão Linear pela que foi a técnica utilizada para concluir a modelação do índice integrado. Também na Figura 3.22, consta o gráfico REC, onde se pode verificar o superior desempenho da Regressão Linear em relação às restantes técnicas testadas.

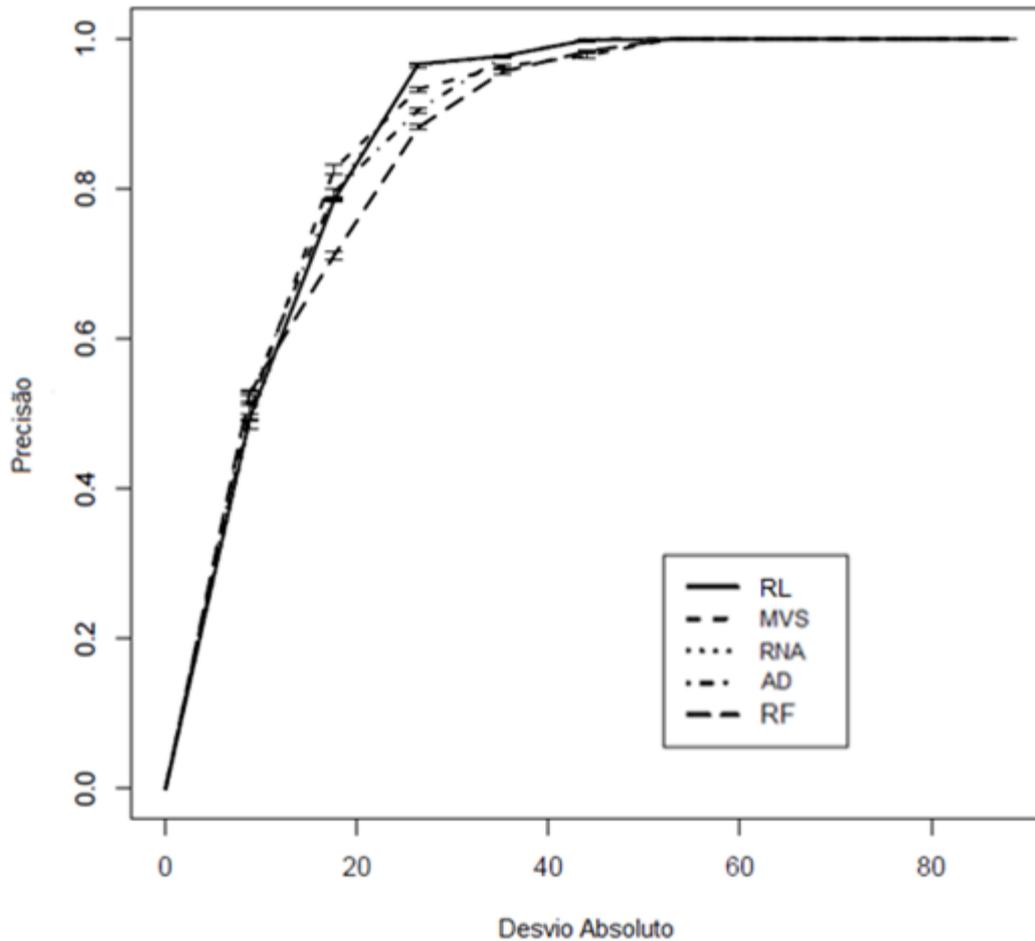


Figura 3.22 - Curva REC para o nível de desconforto relativo à qualidade do ar interior

Concluído que a melhor técnica para esta amostra de dados é a Regressão Linear, estabeleceu-se uma correlação entre estas duas variáveis, resultando assim no gráfico e na função de aproximação que se encontram na Figura 3.23.

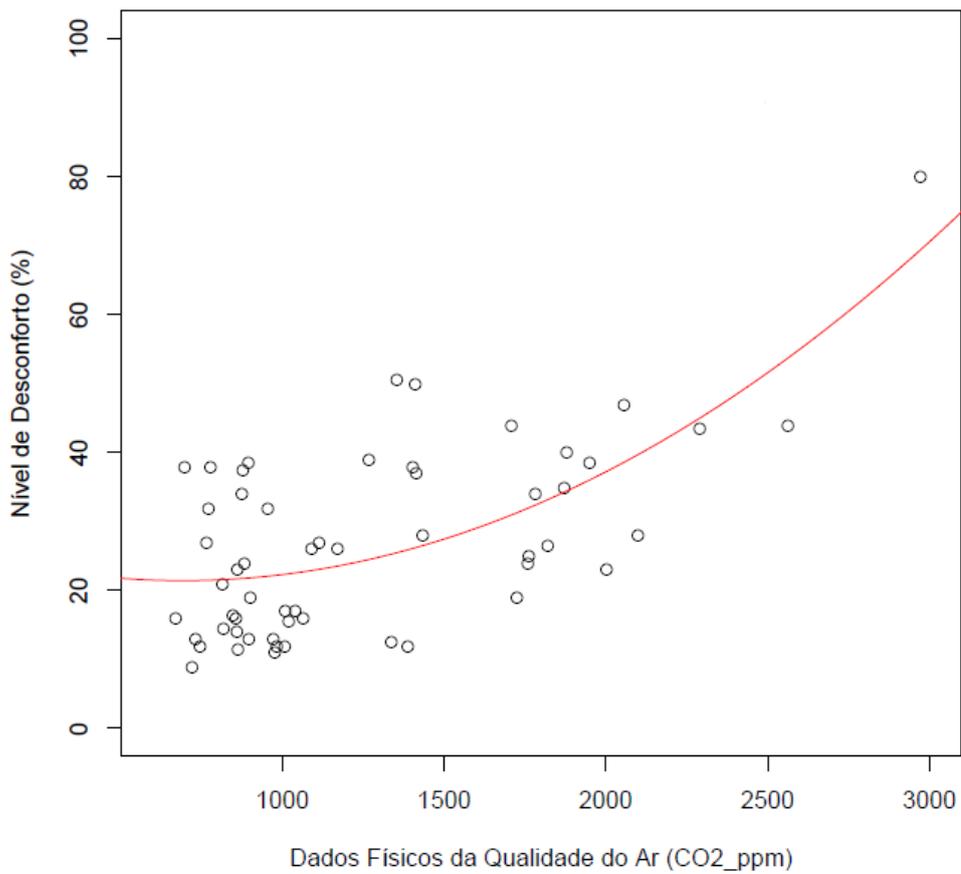


Figura 3.23 - Relação entre a concentração de CO₂ (CO₂ ppm) e o nível de desconforto (%)

Após uma análise do mesmo, conclui-se que quanto mais puro for o ar, menor é o desconforto provocado. No entanto, por mais baixo que seja a concentração de CO₂ parece que não se consegue atingir valores mais baixos do nível de desconforto. Esta situação ocorre uma vez que existem outros fatores que influenciarão a sensação de conforto do ocupante além da concentração de CO₂. Isto conclui-se observando a linha de tendência calculada e que se encontra apresentada na Equação 3.6.

$$ND_{QA} = 9,2e^{-6} \cdot CO_2^2 - 0,0127668 \cdot CO_2 + 25,84265 \quad (3.6)$$

onde ND_{QA} é o nível de desconforto relativo à qualidade do ar interior e CO_2 é a quantidade em partes por milhão de CO₂ registada. Esta foi obtida através da ferramenta R e possui um coeficiente de determinação $R^2 = 0,428$.

3.3.5. Modelação do índice integrado de conforto

De maneira a modelar-se a resposta humana ao nível do desconforto global, recorreu-se às medições subjetivas obtidas através de inquéritos aos ocupantes dos espaços alvo de estudo com o objetivo de compreender o modo como cada um dos parâmetros influencia o conforto global e consequentemente proceder à atribuição de um peso a cada um para posteriormente ser adotado na categoria “Conforto e Saúde” do sistema de avaliação da sustentabilidade SBTool^{PT}. Com isto, pretende-se modelar a resposta de um ocupante virtual de um edifício permitindo assim prever a sensação de desconforto de um futuro ocupante para esse ambiente.

Para se modelar a resposta humana, após se efetuar o tratamento de dados explicado anteriormente, foram validados 115 inquéritos dos ocupantes que se traduziram em 40 compartimentos validados. Cada um contém quatro variáveis independentes correspondentes aos quatro níveis de desconforto a cada um dos indicadores assim com uma variável dependente correspondente ao nível de desconforto global.

O objetivo consiste em prever o nível global de desconforto global (variável dependente) em função dos níveis de desconforto relativos aos quatro indicadores (variáveis independentes) obtendo uma modelação final do tipo apresentado na Equação 3.7.

$$ND_G = m_{TO} \cdot ND_{TO} + m_{IL} \cdot ND_{IL} + m_{RU} \cdot ND_{RU} + m_{QA} \cdot ND_{QA} \quad (3.7)$$

onde ND_G é o nível previsto de desconforto global, m_i são os coeficientes de cada variável independente e ND_{TO} , ND_{IL} , ND_{RU} e ND_{QA} representam, respetivamente, o nível de desconforto relativo à térmica, à iluminância, ao ruído e à qualidade do ar interior.

De modo a avaliar a melhor técnica para a modelação do índice integrado recorreu-se ao mesmo processo utilizado na análise dos parâmetros, onde foram utilizados o coeficiente de determinação (R^2), o erro médio absoluto (EMA) e a curva REC como critérios de avaliação. Os resultados constam na Tabela 3.10, onde os melhores valores se encontram a negrito.

Tabela 3.10 - Valores de R^2 e EMA (em %) para a previsão do conjunto de dados para o nível de desconforto geral

Técnica	R^2	EMA
RM	0,274	± 0,003
MVS	0,245	± 0,015
RNA	0,133	± 0,018
AD	0,031	± 0,016
RF	0,122	± 0,009

Como se pode verificar, em ambos os critérios, a técnica que melhores resultados oferece é a Regressão Múltipla pela que foi a técnica utilizada para concluir a modelação do índice integrado. Também na Figura 3.24, consta o gráfico REC, onde se pode verificar o superior desempenho da Regressão Múltipla em relação às restantes técnicas testadas.

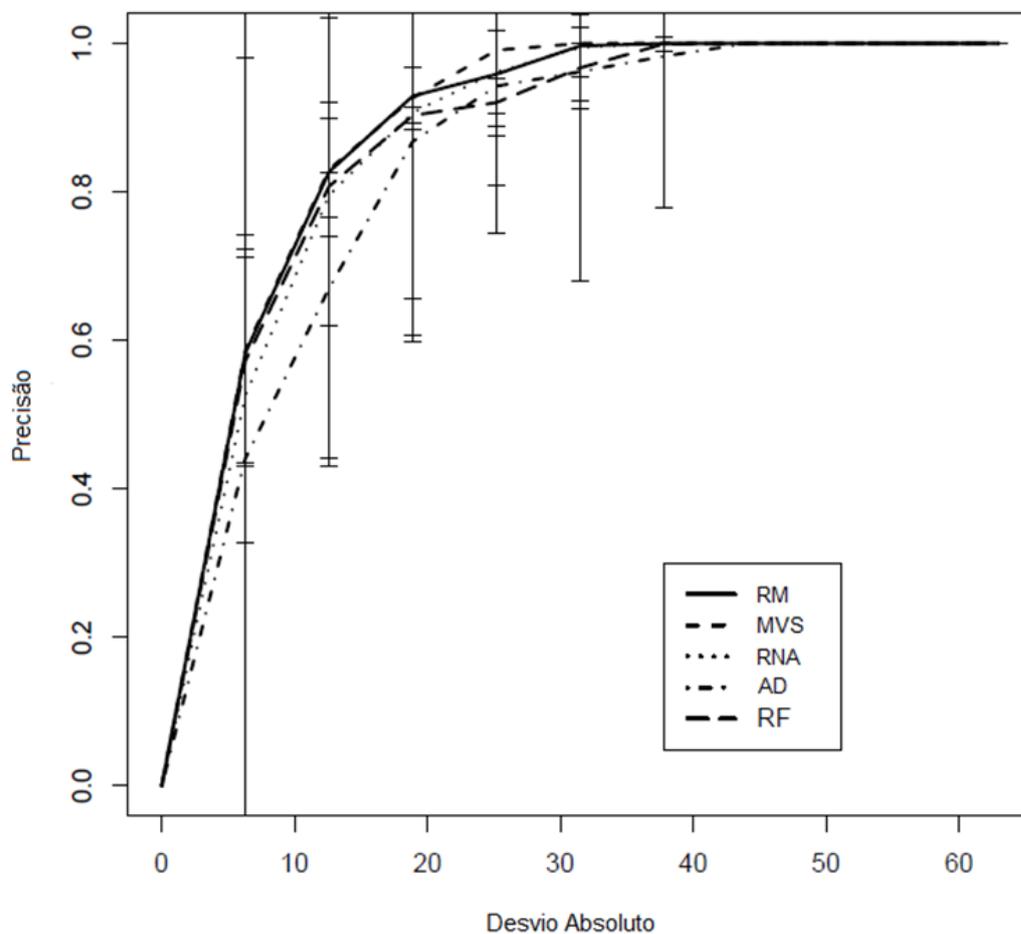


Figura 3.24 - Curva REC para o nível de desconforto geral

Através da Regressão Múltipla foi possível obter uma relação entre os quatro indicadores e o nível de desconforto global resultando na Equação 3.8:

$$ND_G = 0,36237.ND_{TO} + 0,25267.ND_{IL} + 0,17223.ND_{RU} + 0,32654.ND_{QA} - 0,03795 \quad (3.8)$$

onde ND_G é o nível previsto de desconforto global e ND_{TO} , ND_{IL} , ND_{RU} e ND_{QA} representam, respetivamente, o nível de desconforto relativo à térmica, à luminosidade, ao ruído e à qualidade do ar.

Esta equação trata-se de equação polinomial de 1º grau e possui um elevado grau de precisão uma vez que contém um coeficiente de determinação elevado, $R^2 = 0,6589$.

De maneira a obter os pesos dos níveis de desconforto de cada parâmetro numa escala de 0 a 1 foi efetuada a conversão por regra de três simples dos coeficientes obtidos na Equação 3.8, uma vez que o somatório dos mesmos dá um total de 1,114. Desta forma a distribuição dos pesos para aplicação na categoria de “Conforto e Saúde” da Metodologia de Avaliação Relativa da Sustentabilidade de Edifícios de Habitação seria como está representada na Tabela 3.11:

Tabela 3.11 - Pesos relativos propostos para os indicadores

Indicador	Peso (%)
Conforto Térmico	33
Conforto Lumínico	23
Conforto Acústico	15
Conforto em relação à Qualidade do Ar Interior	29

Para concluir, o índice integrado desenvolvido através da Regressão Múltipla ficaria completo como consta na Equação 3.9:

$$\begin{aligned} ND_G = & 0,36237(1,143399.TO^2 - 45,9397.TO + 477,8789) \\ & + 0,25267(0,0001473.E^2 - 0,2042492.E + 76,8656) \\ & + 0,17223(0,0368927.dB(A)^2 - 2,663989.dB(A) + 62,92481) \quad (3.9) \\ & + 0,32654(9,2e^{-6}.CO_2^2 - 0,0127668.CO_2 + 25,84265) \\ & - 0,03795 \end{aligned}$$

onde ND_G é o nível previsto de desconforto global, TO é a temperatura operativa registada, E é a iluminância registada, $dB(A)$ é o ruído registado e CO_2 é a quantidade em partes por milhão de CO_2 registada.

4. CONCLUSÕES

4.1. Síntese e discussão dos resultados obtidos

O trabalho realizado nesta dissertação é uma continuidade do realizado por Mateus (2009) no âmbito da sua Dissertação de Doutoramento, mais propriamente de uma proposta para o desenvolvimento de um sistema de pesos da categoria de “Conforto e Saúde” para a Metodologia de Avaliação Relativa da Sustentabilidade de Edifícios de Habitação (MARS-H). Esta proposta visa apoiar os projetistas nas tomadas de decisão durante a fase de conceção e baseia-se no desenvolvimento de um índice integrado de forma a concluir o peso relativo de cada indicador da categoria conforto apoiando-se em técnicas de *Data Mining*. Foi considerada uma amostra de dados (um total de 64 compartimentos) de edifícios da região Norte de Portugal.

No que concerne aos resultados obtidos, é possível concluir que relativamente à temperatura a gama de valores que minimiza o nível de desconforto térmico encontra-se entre os 18 e 22°C, enquanto que para a luminosidade a gama que minimiza o nível de desconforto lumínico se encontra entre 500 e 900 lx. Para ambos os casos, é possível afirmar que não se consegue agradar a toda a gente uma vez que não há valor ideal que atinja os 0% de nível de desconforto. Relativamente ao parâmetro da acústica, todos os compartimentos provocam desconforto uma vez que nenhum deles se encontra a baixo do limite máximo de 45 dB definido na norma EN 15251: 2007. Quanto ao nível de desconforto relativo à qualidade do ar, há uma diminuição deste à medida que diminui a quantidade de CO₂. No entanto, este estabiliza por volta dos 20% do nível de desconforto por haver influência de outros fatores além do CO₂.

O *Data Mining* revelou-se um processo importante neste trabalho, tendo sido analisada a melhor técnica para descobrir informações úteis nos dados analisados e posterior modelação dos mesmos. Como auxílio para a condução deste trabalho, recorreu-se à metodologia CRISP-DM e à ferramenta R. Assim, foi avaliada a amostra de dados primeiro para cada indicador individualmente de maneira a compreender a resposta humana relativamente ao estímulo. De seguida foi estudada a resposta de um ocupante médio português à exposição combinada

(conforto global) aos estímulos estudados. Para todas as avaliações efetuadas recorreu-se a técnica de Regressão Linear ou Múltipla, escolhida através da análise do coeficiente de determinação, erro médio absoluto, assim como da curva REC.

Com base nos resultados obtidos, é possível concluir que foi possível desenvolver um índice de conforto ajustado que permite prever o nível global de conforto para um ocupante virtual de um edifício de habitação na região Norte de Portugal. Este índice foi desenvolvido em função dos valores medidos para determinados parâmetros físicos que caracterizam o ambiente térmico, lumínico, acústico e a qualidade do ar interior. Estes parâmetros pertencem à categoria “Conforto e Saúde dos utilizadores” do SBTool^{PT}-H e o desenvolvimento do índice, também, permitiu concluir o peso relativo de cada parâmetro.

Tendo em conta o trabalho desenvolvido, os objetivos definidos inicialmente foram atingidos. Foi possível desenvolver um sistema de pesos da categoria de “Conforto e Saúde” para o sistema de avaliação da sustentabilidade SBTool^{PT}-H, obtendo assim os pesos relativos a cada parâmetro da categoria mencionada.

Os resultados obtidos têm bons coeficientes de determinação, o que leva a dizer que são úteis. Nas modelações efetuadas aos parâmetros obteve-se um coeficiente de determinação médio de 0,42 enquanto para a modelação do nível de desconforto geral, um coeficiente de determinação de 0,66.

Com o desenvolvimento do índice de desconforto global foi possível concluir que os parâmetros que têm mais influência são o conforto térmico e a qualidade do ar interior, uma vez que têm um peso relativo de 33% e 29%, respetivamente. Assim, tais resultados permitem orientar projetistas nas suas tomadas de decisão tendo em conta a importância que cada um dos parâmetros tem no conforto global dos ocupantes.

Relativamente à ferramenta R, esta revelou-se muito útil para a satisfação dos objetivos definidos para o presente trabalho. Esta permite analisar os dados recorrendo a critérios que não se encontram disponíveis em muitas ferramentas, como é o caso da curva REC, e aplicar técnicas de *Data Mining* através de comandos relativamente simples, permitindo uma rápida adaptação por parte do utilizador.

4.2. Perspetivas Futuras

Após a discussão sobre as conclusões obtidas com a realização deste trabalho, serão, de seguida, indicadas algumas sugestões para trabalhos futuros a realizar nesta área.

Considerando que este trabalho se trata de um estudo experimental, mais concretamente, de uma análise estatística, é fundamental recolher uma amostra significativa de dados para credibilizar o estudo, de maneira a possibilitar a eliminação de ruído nos dados. Desta forma, recomenda-se a recolha de mais dados com o intuito de aumentar a amostra, isto tendo em conta que este estudo se baseou na análise de 344 inquéritos de 64 compartimentos. Como exemplo, refere-se o estudo realizado por Humphreys (2005), que tem como base uma amostra mais significativa, contabilizando-se na sua análise 4500 inquéritos referentes a 26 edifícios de escritórios. Há, no entanto, que enfatizar o facto de a amostra na qual este estudo se baseia, ter fins diferentes daquele realizado por Humphreys. Ora, este apenas tinha como fim uma análise do conforto no interior de edifícios na região Norte de Portugal, ao contrário do de Humphreys que abrangeu edifícios em cinco países.

Como já foi referido, este estudo foi realizado com base numa amostra de dados referente à região Norte de Portugal, de modo que a sua extensão às restantes regiões é vantajoso para o sistema de avaliação da sustentabilidade SBTTool^{PT}-H. Desta forma, a metodologia ficaria habilitada a discriminar a maximização do conforto no interior de edifícios a nível nacional.

Uma vez que este estudo se baseou em dados recolhidos apenas de edifícios de serviços, sugere-se a extensão deste estudo a outros tipos de edifícios. Esta extensão teria como propósito a verificação da relação entre os pesos dos diversos parâmetros, de maneira a concluir-se se esta se mantém ou se se altera consoante o tipo de edifício em análise.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alcobia, Carlos (2006). **Ergonomia Ambiental em Veículos**. Dissertação para Doutorado em Ciências de Engenharia Mecânica (Aerodinâmica). Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Mecânica, Coimbra.

Almeida, Manuela; Silva, Sandra (2008). **Apontamentos para a Unidade Curricular de Física das Construções**. Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães.

Araújo, Teles. (2007). **Relatório do Observatório Nacional das Doenças Respiratórias**. ONDR, Observatório Nacional das Doenças Respiratórias.

Azevedo, C. e Santos, M. (2005). **Data Mining: Descoberta de conhecimento em bases de dados**. FCA-Editora de Informática.

Bodmann, H. W. (1967). **Quality of Interior Lighting Based on Luminance**. Transaction of Illuminating Engineering Society 32(1). P. 22-40.

Boyce, P. R. (1981). **Human Factors in Lighting**. Applied Sciences Publishers, London.

Breiman, L. (2001). **Random Forests**. Machine Learning, 45, 5-32.

Brown, S. k. (1997). **Indoor Air Quality**. Australia: State of the Environment technical Paper Series (atmosphere), Department of the Environment, Sport and Territories, Canberra. ISBN: 0-642-25279-3.

Chapman, P., Clinton, J., Kerber, R., Khabaza, T., Reinartz, T., Shearer, C., and Wirth, R. (2000). **CRISP-DM 1.0: Step-by-step data mining guide**. SPSS inc, 78.

Chappels, H. and Shove E. (2005). **Debating The Future of Comfort: Environmental Sustainability, Energy Consumption and the Indoor Environment**, Building Research & Information, 33(1), p. 32-40.

CIBSE (1994). **CODE FOR INTERIOR LIGHTING**. Chartered Institution of Building Services Engineering.

CIE (1970). **Daylight. International Recommendations for the Calculation of Natural Light**. Commission Internationale de L'Éclairage. Pub. CIE N°16 (E-3.2).

CIE (1975). **Guide on Interior Lighting**. Commission Internationale de L'Éclairage. Pub. CIE N°29 (E-4.2).

CIE 55 (1983). **Discomfort Glare in the Interior Working Environment**. Commission Internationale de L'Éclairage.

CIE 117 (1995). **Discomfort Glare in Interior Lighting**. Commission Internationale de L'Éclairage.

Cortes, B. (2005). **Sistemas de suporte à decisão**. FCA-Editora Informática.

Cortez, P. (2012). **Data Mining with Multilayer Perceptrons and Support Vector Machines**. In D. Holmes and L. Jain (Eds.), DATA MINING: Foundations and Intelligent Paradigms, Volume 2: Core Topics including Statistical, Time-Series and Bayesian Analysis, ISRL 24, chapter 2, pp. 9-25, 2012. Springer.

Cortez, P. (2010). **Data Mining with Neural Networks and Support Vector Machines Using the R/Rminer Tool**. In: Perner, P. (ed.) Advances in Data Mining -- Applications and Theoretical Aspects, 10th Industrial Conference on Data Mining, pages 572-583. Berlin, Germany: LNAI 6171, Springer.

Costa, E. & Simões, A. (2008). **Inteligência Artificial - Fundamentos E Aplicações**, FCA - Editora.

Einhorn, H. D. (1969). **A New Method for the Assessment of Discomfort Glare**. *Lighting Research and Technology* 1(4). P. 235-247.

Einhorn, H. D. (1979). **Discomfort Glare: A Formula to Bridge Differences**. *Lighting Research and Technology* 11(2). P. 90-94.

Einhorn, H. D. (1998). **Unified Glare Rating (URG): Merits And Application to Multiple Sources**. *Lighting Research and Technology* 30(2). P. 89-93.

EN 12193 (1999). **Light and Lighting – Sports Lighting**. European Committee of Standardization (CEN)

EN 12464-1 (2002). **Light and Lighting, Lighting of Work Places – Part 1: Indoor Work Places**. European Committee of Standardization (CEN)

EN 15215 (2007). **Indoor Environmental Input Parameters for Design and Assessment of Energy Performance of Buildings Addressing Indoor Air Quality, Thermal Environment, Lighting and Acoustics**. European Committee of Standardization (CEN).

EN ISO 226 (2003). **Acoustics – Normal Equal-Loudness-Level Contours**. International Organization for Standardization.

EN ISO 7726 (1985). **Thermal Environment – Instruments and Methods for Measuring Physical Quantities**. International Organization for Standardization.

EN ISO 7730 (2005). **Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort Using Calculation of the PMV and PPD Indices and Local Thermal Comfort**. International Organization of Standardization.

EPA (1990). **Reducing Risk: Setting Priorities and Strategies for Environmental Protection**. United States Environmental Protection Agency, Science Advisory Board, EPA-SAB-EC-90-021, Washington, D.C., September. pp 13-14.

EPA (2000). **Toward Integrated Environmental Decision-Making**. United States Environmental Protection Agency, Science Advisory Board, EPA-SAB-EC-00-011, Washington, D.C., August.

EUR 14449 EN. **Guidelines for Ventilation Requirements in Buildings**. Report n°11, European collaborative action on Indoor Air Quality and its Impact on Man. Commission of the European Communities.

Fanger, P. O. (1972). **Thermal Comfort**. Danish Technical Press.

Fayyad U., Shapiro G., and Smyth P. (1996). **From Data Mining to Knowledge Discovery in Databases**, AI Magazine.

Fisher, D. (1970). **Optimale Beleuchtungsniveaus in Arbeitsräumen**. Lichttechnik 22.

Fletcher, H. and Munson, W.A. (1933). **Loudness, its definition, measurement and calculation**. Journal of the Acoustic Society of America 5, 82-108.

Gagge, A. P.; Burton, A. C.; Bazzet, H. D. (1941). **A Practical System for Units for the Description of Heat Exchange of Man with His Environment**. Science 94, p. 428-430.

Groth, K., Fukuda, K. Mirschel, W., Pechenick, A., Wieland, R., Zbell, B. (2000). **A new library to combine artificial neural networks and support vector machines with statistics and a database engine for application in environmental modeling**. Environmental Modelling & Software, Volume 25, Issue 4, Pages 412-420.

Han, J. & Kamber, M. (2006). **Data Mining - Concepts and Techniques**, The Morgan Kaufmann.

Hastie, T., Tibshirani, R., and Friedman, J. (2008). **The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction**. Springer-Verlag, NY, USA, 2nd ed.

Haykin, S. (1999). **Neural networks: a comprehensive foundation**. Prentice Hall PTR Upper Saddle River, NJ, USA, 2 edition.

Hopkinson, R. G.; Bradley, R. C. (1960). **A Study of Glare from Very Large Sources**. Illuminating Engineering 55(5). P. 288-294.

Hopkinson, R. G. (1963). **Architectural Physics: Lighting**. London, U. K.. Her Majesty's Stationery Office.

Hopkinson, R. G.; Collins, W. M. (1963). **An Experimental Study of the Glare from Luminous Ceiling**. Transaction of Illuminating Engineering Society 28(4). P. 142-148.

Humphreys, M. A. (2005). **Quantifying Occupant Comfort: are combined indices for indoor environment practicable?**, Building Research & Information, 33:4, 317-325.

IESNA (2000). **Lighting Handbook**. 9th Edition. Illuminating Engineering Society of North America. New York.

Kibert, Charles J. (1994). **Establishing Principles and a Model for Sustainable Construction**. in Kibert, C.J., ed. Proceedings of the First International Conference on Sustainable Construction. Tampa, FL, November 6-9. CIB Publications TG 16, Roterdão.

Kibert, Charles J. (2005). **Sustainable Construction: Green Building Design and Delivery**. John Wiley & Sons, Inc., ISBN 0-471-66113-9, New Jersey, United States of America.

Maimon, O. & Lior, R. (2010). **Data Mining and Knowledge Discovery Handbook**, New York - USA, Springer.

Maimon, O. and Rokach, L. (2005). **Data mining and knowledge discovery handbook**. Springer-Verlag New York Inc.

Mateus, R., Bragança, L. (2006). **Tecnologias Construtivas para a Sustentabilidade da Construção**. Edições Ecopy: Porto. ISBN 978-989-95194-1-1.

Mateus, R. (2009). **Avaliação da Sustentabilidade da Construção: Propostas para o Desenvolvimento de Edifícios mais Sustentáveis**, Dissertação para Doutoramento em

Processos da Construção. Escola de Engenharia da Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil.

NP 1730 (1996). **Acústica: Descrição e Medição do Ruído Ambiente**. Instituto Português da Qualidade (IPQ).

Pinheiro, M. D. (2003). **Construção Sustentável – Mito ou Realidade?**. VII Congresso Nacional de Engenharia do Ambiente, Novembro 6 e 7, APEA, Torre do Tombo, Lisboa.

Pontil, M. and Verri, A. (1998). **Properties of support vector machines**. *Neural Computation*, 10(4):955-974.

Portugal (2006). **Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização de Edifícios (RSECE)**. Decreto-Lei nº79/2006.

Portugal (2006). **Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE)**. Decreto-Lei nº80/2006.

Ricci, L. (2010). **Adjusted R-squared type measure for exponential dispersion models**. *Statistics & Probability Letters*, Volume 80, Issues 17-18, Pages 1365-1368.

Shove, E. (2003). **Comfort, Cleanliness and Convenience: The Social Organization of Normality**. Berg, Oxford.

Torgo, L. (1999). **Inductive Learning of Tree-based Regression Models**. Tese de Doutoramento, Universidade do Porto; Portugal.

Torgo, L. (2005). **Regression Error Characteristic Surfaces**. In *Proceedings of the Eleventh ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD-2005)*. Chicago, USA.

UN (1993). **Agenda 21: Programme for Action for Sustainable development**. United Nations, Conference on environment and development, Rio de Janeiro, 1992.

WCDE (1987). **Our common future**. World Commission on Environment and Development. Oxford: Oxford University Press. p. 43.

DMUA (2012). **Distribuições de Probabilidade**. Departamento de Matemática da Universidade de Aveiro. Informação disponível na internet em [<http://www2.mat.ua.pt/pessoais/ahall/Bioestat%C3%ADstica/SlidesBioestat%C3%ADstica6.pdf>] a 11/04/2012.

iiSBE (2012). **Sustainable Building Tool (SBTool)**. International Initiative for a Sustainable Built Environment (iiSBE). Informação disponível na internet em [<http://www.iisbe.org>] a 14/06/2012.

R-Project (2012). **R-Project**. GNU project. Informação disponível na internet em [<http://www.r-project.org/>] a 30/03/2012.

ANEXOS

Anexo A1 – Dados da amostra

Tabela A.1.1 - Dados da amostra dos parâmetros

Compartimento	To (°C)	ND To	Lux	ND Lux	R (dB)	ND R	CO ₂ (ppm)	ND CO ₂
1	21,48	16,00%	234,00	-48,00%	63,80	39,00%	883,00	24,00%
2	20,52	2,50%	287,00	-10,00%	51,60	12,00%	1880,00	40,00%
3	21,88	37,00%	417,33	16,00%	59,10	27,50%	1411,00	50,00%
4	20,68	7,00%	NA	NA	NA	NA	1065,00	16,00%
5	21,72	8,50%	451,00	-9,00%	63,30	38,00%	2003,00	23,00%
6	17,94	-31,00%	524,00	0,00%	60,30	38,00%	1021,00	15,50%
7	20,89	9,00%	348,00	0,00%	65,00	39,00%	2563,00	44,00%
8	21,98	51,00%	419,00	13,00%	67,70	51,00%	1415,00	37,00%
9	21,07	-7,00%	298,94	-3,50%	61,90	39,00%	1171,00	26,00%
10	23,22	39,50%	331,37	-40,00%	61,60	46,50%	875,00	34,00%
11	21,87	14,00%	780,35	13,00%	51,30	13,00%	1435,00	28,00%
12	22,18	33,50%	310,00	1,50%	56,70	21,00%	1040,00	17,00%
13	23,37	63,00%	376,60	6,00%	61,60	62,00%	1760,00	24,00%
14	24,41	0,00%	837,63	27,00%	58,00	25,50%	1114,00	27,00%
15	25,54	37,50%	349,94	-13,50%	61,60	45,50%	1762,00	25,00%
16	23,81	22,50%	385,50	32,00%	61,50	27,50%	2010,00	82,00%
17	24,61	38,00%	687,20	0,00%	60,20	27,50%	1355,00	50,50%
18	23,32	19,50%	587,71	-23,00%	59,80	25,50%	2100,00	28,00%
19	22,22	10,50%	481,20	-21,50%	62,90	42,50%	1821,00	26,50%
20	24,85	27,50%	316,00	0,00%	59,70	38,50%	2290,00	43,50%
21	23,31	39,00%	385,25	11,00%	62,70	40,00%	1725,00	19,00%
22	25,40	34,00%	850,19	8,00%	59,20	26,00%	2056,00	47,00%
23	20,91	-6,50%	610,94	13,50%	61,60	40,00%	1782,00	34,00%
24	21,72	0,00%	574,43	0,00%	58,80	16,50%	1388,00	12,00%
25	23,02	40,00%	429,06	21,00%	58,90	32,50%	1708,00	44,00%
26	20,33	9,00%	355,06	5,50%	55,80	37,00%	2973,00	80,00%
27	21,81	0,00%	447,00	0,00%	54,70	25,00%	2252,00	47,00%
28	NA	NA	473,54	-41,00%	62,70	40,00%	2158,00	88,00%
29	23,93	32,50%	194,47	-58,50%	56,00	39,00%	973,00	13,00%
30	NA	NA	470,50	28,50%	63,60	62,50%	NA	NA
31	25,36	52,00%	644,94	16,00%	54,40	35,50%	778,00	38,00%
32	26,82	89,00%	464,00	13,00%	58,80	26,00%	NA	NA
33	21,04	19,00%	307,88	-38,00%	51,10	28,00%	816,00	21,00%
34	22,10	37,00%	279,38	-16,00%	51,90	33,50%	878,13	37,50%
35	22,91	36,50%	299,06	30,50%	50,90	33,50%	897,88	13,00%
36	NA	NA	248,69	-14,00%	NA	NA	671,31	16,00%
37	NA	NA	236,47	-37,00%	NA	NA	698,25	38,00%
38	21,88	0,00%	236,19	-39,00%	45,50	11,00%	721,63	9,00%
39	20,64	0,00%	247,00	-48,00%	45,50	24,50%	745,88	12,00%
40	21,93	30,00%	NA	NA	NA	NA	772,69	32,00%
41	20,03	5,00%	390,22	0,00%	51,70	32,00%	847,13	16,50%
42	20,42	17,00%	297,13	0,00%	45,70	13,00%	860,25	14,00%
43	21,74	12,00%	597,68	12,00%	NA	NA	984,06	12,00%
44	19,29	8,50%	641,22	0,00%	54,20	28,00%	861,94	23,00%
45	21,19	0,00%	541,95	18,50%	NA	NA	818,69	14,50%
46	21,68	18,00%	599,83	24,00%	57,60	42,00%	1008,81	17,00%
47	21,07	36,00%	595,44	0,00%	54,00	38,00%	1268,19	39,00%
48	22,65	0,00%	350,38	0,00%	60,90	38,00%	863,81	11,50%

49	20,75	0,00%	367,64	0,00%	61,20	38,00%	1008,69	12,00%
50	20,24	13,00%	636,41	0,00%	58,70	47,00%	767,00	27,00%
51	NA	NA	136,60	-63,00%	NA	NA	731,88	13,00%
52	21,39	0,00%	NA	NA	NA	NA	977,63	11,00%
53	23,40	38,00%	457,83	0,00%	59,30	12,00%	901,13	19,00%
54	22,84	0,00%	444,80	0,00%	64,90	38,50%	956,19	32,00%
55	24,66	38,00%	427,03	0,00%	60,40	47,00%	1055,00	50,00%
56	25,03	49,00%	289,19	-45,50%	59,40	51,00%	896,31	38,50%
57	21,57	30,00%	383,10	-20,00%	56,10	17,50%	1403,06	38,00%
58	22,26	43,50%	206,74	-49,00%	59,10	23,00%	1872,31	35,00%
59	22,16	0,00%	380,66	-20,00%	62,50	50,00%	1950,94	38,50%
60	19,57	0,00%	434,76	-10,50%	60,70	39,00%	NA	NA
61	22,43	12,00%	462,64	0,00%	56,00	13,50%	1337,63	12,50%
62	23,30	39,00%	496,75	0,00%	54,10	26,50%	1091,13	26,00%
63	25,33	37,00%	1220,75	38,00%	56,60	39,00%	857,44	16,00%

Tabela A.1.2 - Dados da amostra para nível de desconforto global

Compartimento	ND To	ND LUX	ND R	ND CO ₂	ND Geral
1	36,00%	62,00%	38,00%	13,00%	62,00%
3	37,00%	16,00%	27,50%	50,00%	33,00%
6	38,00%	3,00%	35,00%	15,00%	26,50%
7	21,50%	6,50%	46,00%	44,00%	32,50%
8	53,00%	17,50%	49,50%	31,50%	38,00%
9	38,00%	33,00%	39,00%	19,00%	38,00%
10	0,00%	40,00%	38,00%	32,00%	12,00%
11	16,00%	13,00%	17,00%	27,00%	21,00%
12	37,00%	38,00%	21,00%	19,00%	28,00%
13	63,00%	12,00%	62,00%	25,00%	38,00%
14	0,00%	41,00%	12,00%	24,00%	19,00%
16	31,00%	32,00%	17,00%	82,00%	46,00%
17	38,50%	14,00%	27,50%	54,00%	33,00%
19	10,50%	21,50%	42,50%	26,50%	25,00%
21	39,00%	11,00%	40,00%	12,00%	40,00%
22	35,00%	0,00%	10,00%	89,00%	38,00%
23	39,00%	0,00%	40,00%	39,00%	39,00%
24	24,00%	0,00%	21,00%	13,00%	18,00%
25	0,00%	17,00%	9,00%	44,00%	24,00%
26	9,00%	0,00%	35,00%	89,50%	58,50%
27	13,00%	15,00%	25,00%	47,00%	24,00%
29	12,00%	39,00%	39,00%	13,00%	16,00%
31	52,00%	28,00%	31,00%	38,00%	41,00%
34	0,00%	16,00%	30,00%	27,00%	9,00%
41	5,00%	9,50%	35,50%	16,50%	15,00%
44	8,50%	0,00%	28,00%	23,00%	21,50%
46	36,00%	24,00%	57,00%	12,00%	14,00%
47	36,00%	0,00%	38,00%	39,00%	38,00%
49	0,00%	11,00%	38,50%	10,50%	17,00%
50	13,00%	0,00%	47,00%	27,00%	21,00%
53	38,00%	0,00%	38,00%	28,00%	24,00%
54	0,00%	0,00%	39,00%	38,00%	12,00%
55	38,00%	12,00%	49,00%	52,00%	40,00%
56	49,00%	45,50%	51,00%	38,50%	50,00%
57	23,00%	40,00%	39,00%	38,00%	39,00%
58	37,00%	49,00%	23,00%	44,00%	43,00%
59	0,00%	20,00%	50,00%	38,50%	37,50%
61	0,00%	0,00%	13,00%	12,00%	12,00%
62	47,00%	0,00%	27,00%	42,00%	33,00%
63	75,00%	38,00%	56,00%	16,00%	63,00%

Anexo A2 – Códigos Usados

Em seguida são apresentados os ficheiros de código que foram utilizados para a avaliação e modelação do modelo para o parâmetro da temperatura como exemplo uma vez que para os outros três parâmetros consiste num código semelhante. Também constam os códigos utilizados avaliação e modelação para o índice global.

Avaliação Individual Para Parâmetros (Exemplo: Temperatura)

```
library(rminer)
# Carregar modelo (BDs)
source("model.R")
library(randomForest)
# Carregar tabela para a variável "d"
d=read.table("dados.temperatura.csv",sep=";",header=TRUE)
# Remover dados omissos:
d=na.omit(d)
# Seleção de entradas
temperatura=c(1,2)
# Criação da função analise
analise=function(nome,data,model,VAL,Runs)
{
cat("executar - mining:",nome,":",model,"...\n")
SEARCH=NULL
if(model=="mlpe" || model=="randomforest") SEARCH="heuristic10"
else if(model=="svm") SEARCH="heuristic10"
mpar=NULL
if(model=="randomforest") mpar=c("kfold",3)
else if(model=="mlpe") mpar=c(7,100,"kfold",3)
else if(model=="svm") mpar=c(NA,NA,"kfold",3)
MR=mining(nivel.desconforto~.,data,model=model,method=VAL,Runs=Runs,feat="s",search
=SEARCH,mpar=mpar)
F1=paste(nome,"-",model,sep="")
savemining(MR,F1)
cat("terminou...\n")
}
# Definir a computação:
VAL=c("kfold",50);Runs=20
# Efetuar a modelação Regressão Linear:
```

```

model="mr"
analise("parametro",d[,parametro],model="mr",VAL=VAL,Runs=Runs)
# Efetuar a modelação Máquina Suporte de Vetores:
model="svm"
analise("parametro",d[,parametro],model="svm",VAL=VAL,Runs=Runs)
# Efetuar a modelação Redes Neurais Artificiais:
model="mlpe"
analise("parametro",d[,parametro],model="mlpe",VAL=VAL,Runs=Runs)
# Efetuar a modelação Árvores de Decisão:
model="dt"
analise("parametro",d[,parametro],model="dt",VAL=VAL,Runs=Runs)
# Efetuar a modelação Random Forest:
model="randomforest"
analise("parametro",d[,parametro],model="randomforest",VAL=VAL,Runs=Runs)
# Analisar a modelação Regressão Linear:
M1=loadmining("parametro-mr")
# Analisar a modelação Máquina Suporte de Vetores:
M2=loadmining("parametro-svm")
# Analisar a modelação Redes Neurais Artificiais:
M3=loadmining("parametro-mlpe")
# Analisar a modelação Árvores de Decisão:
M4=loadmining("parametro-dt")
# Analisar a modelação Random Forest:
M5=loadmining("parametro-randomforest")
# ver coeficiente de determinação para Regressão Linear:
model="mr"
cat(model,"R2:\n")
# ver coeficiente de determinação para Máquina Suporte de Vetores:
model="svm"
cat(model,"R2:\n")
# ver coeficiente de determinação para Redes Neurais Artificiais:
model="mlpe"
cat(model,"R2:\n")
# ver coeficiente de determinação para Árvores de Decisão:
model="dt"
cat(model,"R2:\n")
# ver coeficiente de determinação para Random Forest:
model="randomforest"
cat(model,"R2:\n")
# criação de tabela com os coeficientes de determinação das técnicas:
cdeterminacao=matrix(ncol=2,nrow=5)

```

```

colnames(cdeterminacao)=c("Mean","Int")
rownames(cdeterminacao)=c("MR","SVM","MLPE","DT","RF")
mi=meanint(mmetric(M1,metric="R2"))
cdeterminacao[1,1:2]=c(mi$mean,mi$int)
mi=meanint(mmetric(M2,metric="R2"))
cdeterminacao [2,1:2]=c(mi$mean,mi$int)
mi=meanint(mmetric(M3,metric="R2"))
cdeterminacao [3,1:2]=c(mi$mean,mi$int)
mi=meanint(mmetric(M4,metric="R2"))
cdeterminacao [4,1:2]=c(mi$mean,mi$int)
mi=meanint(mmetric(M5,metric="R2"))
cdeterminacao [5,1:2]=c(mi$mean,mi$int)
# Ver Erro Absoluto Médio para Regressão Linear:
model="mr"
cat(model,"MAE:\n")
# Ver Erro Absoluto Médio para Máquina Suporte de Vetores:
model="svm"
cat(model,"MAE:\n")
# Ver Erro Absoluto Médio para Redes Neurais Artificiais:
model="mpl"
cat(model,"MAE:\n")
# Ver Erro Absoluto Médio para Árvores de Decisão:
model="dt"
cat(model,"MAE:\n")
# Ver Erro Absoluto Médio para Random Forest:
model="randomforest"
cat(model,"MAE:\n")
# Criação de tabela com os Erros Absolutos Médios das técnicas:
mae=matrix(ncol=2,nrow=5)
colnames(mae)=c("Mean","Int")
rownames(mae)=c("MR","SVM","MLPE","DT","RF")
mi=meanint(mmetric(M1,metric="MAE"))
mae[1,1:2]=c(mi$mean,mi$int)
mi=meanint(mmetric(M2,metric="MAE"))
mae[2,1:2]=c(mi$mean,mi$int)
mi=meanint(mmetric(M3,metric="MAE"))
mae[3,1:2]=c(mi$mean,mi$int)
mi=meanint(mmetric(M4,metric="MAE"))
mae[4,1:2]=c(mi$mean,mi$int)
mi=meanint(mmetric(M5,metric="MAE"))
mae[5,1:2]=c(mi$mean,mi$int)

```

```
# Criação da curva REC e respetivo ficheiro PDF
L=vector("list",5); L[[1]]=M1; L[[2]]=M2; L[[3]]=M3; L[[4]]=M4; L[[5]]=M5
pdf(file="curva.rec.temperatura.pdf")
mgraph(L,graph="REC",leg=c("MR","SVM","MLPE","DT","RF"))
dev.off()
```

Avaliação Nível de Desconforto Global

```
library(rminer)
# Carregar modelo (BDs)
source("model.R")
library(randomForest)
# Carregar tabela para a variável "d"
d=read.table("dados.geral.csv",sep=" ",header=TRUE)
# Remover dados omissos:
d=na.omit(d)
# Seleção de entradas
global=c(1,2,3,4,5)
# Criação da função análise
analise=function(nome,data,model,VAL,Runs)
{
  cat("executar - mining:",nome,":",model,"...\n")
  SEARCH=NULL
  if(model=="mlpe" || model=="randomforest") SEARCH="heuristic10"
  else if(model=="svm") SEARCH="heuristic10"
  mpar=NULL
  if(model=="randomforest") mpar=c("kfold",3)
  else if(model=="mlpe") mpar=c(7,100,"kfold",3)
  else if(model=="svm") mpar=c(NA,NA,"kfold",3)
  MR=mining(nivel.desconforto.global~,data,model=model,method=VAL,Runs=Runs,feat="s",
  search=SEARCH,mpar=mpar)
  F1=paste(nome,"-",model,sep="")
  savemining(MR,F1)
  cat("terminou...\n")
}
# Definir a computação:
VAL=c("kfold",50);Runs=20
# Efetuar a modelação Regressão Múltipla:
model="mr"
analise("global",d[,global],model="mr",VAL=VAL,Runs=Runs)
# Efetuar a modelação Máquina Suporte de Vetores:
model="svm"
```

```

analise("global",d[,global],model="svm",VAL=VAL,Runs=Runs)
# Efetuar a modelação Redes Neurais Artificiais:
model="mlpe"
analise("global",d[,global],model="mlpe",VAL=VAL,Runs=Runs)
# Efetuar a modelação Árvores de Decisão:
model="dt"
analise("global",d[,global],model="dt",VAL=VAL,Runs=Runs)
# Efetuar a modelação Random Forest:
model="randomforest"
analise("global",d[,global],model="randomforest",VAL=VAL,Runs=Runs)
# Analisar a modelação Regressão Múltipla:
M1=loadmining("global-mr")
# Analisar a modelação Máquina Suporte de Vetores:
M2=loadmining("global-svm")
# Analisar a modelação Redes Neurais Artificiais:
M3=loadmining("global-mlpe")
# Analisar a modelação Árvores de Decisão:
M4=loadmining("global-dt")
# Analisar a modelação Random Forest:
M5=loadmining("global-randomforest")
# Ver coeficiente de determinação para Regressão Múltipla:
model="mr"
cat(model,"R2:\n")
# Ver coeficiente de determinação para Máquina Suporte de Vetores:
model="svm"
cat(model,"R2:\n")
# Ver coeficiente de determinação para Redes Neurais Artificiais:
model="mlpe"
cat(model,"R2:\n")
# Ver coeficiente de determinação para Árvores de Decisão:
model="dt"
cat(model,"R2:\n")
# Ver coeficiente de determinação para Random Forest:
model="randomforest"
cat(model,"R2:\n")
# Criação de tabela com os coeficientes de determinação das técnicas:
cdeterminacao =matrix(ncol=2,nrow=5)
colnames(cdeterminacao)=c("Mean","Int")
rownames(cdeterminacao)=c("MR","SVM","MLPE","DT","RF")
mi=meanint(mmetric(M1,metric="R2"))
cdeterminacao [1,1:2]=c(mi$mean,mi$int)

```

```

mi=meanint(mmetric(M2,metric="R2"))
cdeterminacao [2,1:2]=c(mi$mean,mi$int)
mi=meanint(mmetric(M3,metric="R2"))
cdeterminacao [3,1:2]=c(mi$mean,mi$int)
mi=meanint(mmetric(M4,metric="R2"))
cdeterminacao [4,1:2]=c(mi$mean,mi$int)
mi=meanint(mmetric(M5,metric="R2"))
cdeterminacao [5,1:2]=c(mi$mean,mi$int)
# Ver Erro Absoluto Médio para Regressão Múltipla:
model="mr"
cat(model,"MAE:\n")
# Ver Erro Absoluto Médio para Máquina Suporte de Vetores:
model="svm"
cat(model,"MAE:\n")
# Ver Erro Absoluto Médio para Redes Neurais Artificiais:
model="mpl"
cat(model,"MAE:\n")
# Ver Erro Absoluto Médio para Árvores de Decisão:
model="dt"
cat(model,"MAE:\n")
# Ver Erro Absoluto Médio para Random Forest:
model="randomforest"
cat(model,"MAE:\n")
# Criação de tabela com os Erros Absolutos Médios das técnicas:
mae=matrix(ncol=2,nrow=5)
colnames(mae)=c("Mean","Int")
rownames(mae)=c("MR","SVM","MLPE","DT","RF")
mi=meanint(mmetric(M1,metric="MAE"))
mae[1,1:2]=c(mi$mean,mi$int)
mi=meanint(mmetric(M2,metric="MAE"))
mae[2,1:2]=c(mi$mean,mi$int)
mi=meanint(mmetric(M3,metric="MAE"))
mae[3,1:2]=c(mi$mean,mi$int)
mi=meanint(mmetric(M4,metric="MAE"))
mae[4,1:2]=c(mi$mean,mi$int)
mi=meanint(mmetric(M5,metric="MAE"))
mae[5,1:2]=c(mi$mean,mi$int)
# Criação da curva REC e respetivo ficheiro PDF
L=vector("list",5); L[[1]]=M1; L[[2]]=M2; L[[3]]=M3; L[[4]]=M4; L[[5]]=M5
pdf(file="curva.rec.global.pdf")
mgraph(L,graph="REC",leg=c("MR","SVM","MLPE","DT","RF"))

```

```
dev.off()
```

Modelação Individual Para Parâmetros (Exemplo: Temperatura)

```
library(rminer)
# Carregar tabela para a variável "d"
d=read.table("d.temperatura.csv",sep="," ,header=TRUE)
# Remover dados omissos:
d=na.omit(d)
# Seleção de entradas
x=d[[1]]
y=d[[2]]
# Efetuar a modelação Regressão Linear:
MR1=lm(y ~ I(x)+I(x^2),data=d)
print(MR1$coefficients)
summary(MR1)
# Criação do gráfico e respetivo ficheiro PDF
pdf(file="temperatura.pdf")
plot(x,y ,xlim=c(15,30),ylim=c(0,100),str(MR1),xlab="Dados Físicos do Parâmetro
(unidades)",ylab="Nível de Desconforto (%)")
lines(grid,predict(MR1,data.frame(x=grid)),col=2)
c2=round(coef(MR1),7)
mtext(bquote(y == .(c2[3])*TR^2 +.(c2[2])*TR+.(c2[1])),side=3, adj=1, padj=0)
dev.off()
# Obter previsões do modelo para os pontos x
pred=c2[3]*x^2+c2[2]*x+c2[1]
# Cálculo do Erro
e=y-pred
# Selecionar erros menores do que 25% em valor absoluto:
I=which(abs(e)<25)
# Seleção de novas entradas
x=d[[1]][I]
y=d[[2]][I]
# Efetuar a nova modelação Regressão Linear:
MR2=lm(y ~ I(x)+I(x^2),data=d)
print(MR2$coefficients)
summary(MR2)
# Criação do gráfico e respetivo ficheiro PDF
pdf(file="temperatura.e25.pdf")
plot(x,y ,xlim=c(15,30),ylim=c(0,100),str(MR2),xlab="Dados Físicos do Parâmetro
(unidades)",ylab="Nível de Desconforto (%)")
lines(grid,predict(MR2,data.frame(x=grid)),col=2)
```

```

c2=round(coef(MR2),7)
mtext(bquote(y == .(c2[3])*TR^2 +.(c2[2])*TR+.(c2[1])),side=3, adj=1, padj=0)
dev.off()

```

Modelação PMV-PPD

```

library(rminer)
# Carregar tabela para a variável "d"
d=read.table("pmv.ppd.csv",sep=";",header=TRUE)
# Remover dados omissos:
d=na.omit(d)
# Seleção de entradas
x=d[[1]]
y=d[[2]]
# Efetuar a modelação Regressão Linear:
MR1=lm(y ~ l(x)+l(x^2),data=d)
print(MR1$coefficients)
summary(MR1)
# Criação do gráfico e respetivo ficheiro PDF
pdf(file="PMV-PPD.pdf")
plot(x,y,xlim=c(-3,3),ylim=c(0,100),str(MR1),xlab="PMV",ylab="Nível de Desconforto (%)")
lines(grid,predict(MR1,data.frame(x=grid)),col=2)
c2=round(coef(MR1),7)
mtext(bquote(NDc == .(c2[3])*PMV^2 +.(c2[2])*PMV+.(c2[1])),side=3, adj=1, padj=0)
dev.off()

```

Modelação Nível de Desconforto Global

```

library(rminer)
# Carregar tabela para a variável "d"
d=read.table("d.geral.csv",sep=";",header=TRUE)
# Remover dados omissos:
d=na.omit(d)
# Seleção de entradas
nd.temp=d[[1]]
nd.lux=d[[2]]
nd.db=d[[3]]
nd.co=d[[4]]
y=d[[5]]
# Efetuar a modelação Regressão Linear:
MR=lm(y ~ l(nd.temp)+l(nd.lux)+l(nd.db)+l(nd.co),data=d)
print(MR$coefficients)
summary(MR)

```